

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2005 年 6 月 2 日 (02.06.2005)

PCT

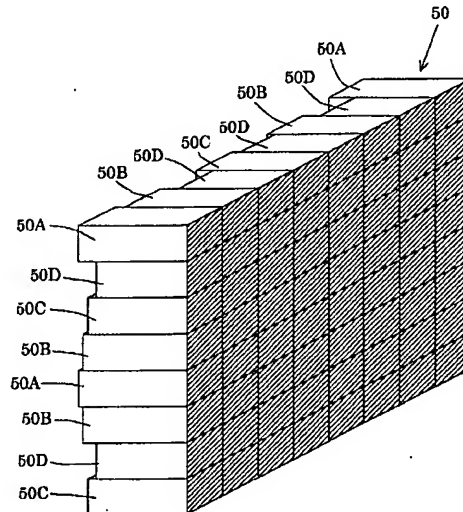
(10) 国際公開番号
WO 2005/050718 A1

- (51) 国際特許分類⁷: H01L 21/027, (72) 発明者; および
G03F 7/20, G02B 27/00, 27/28, 19/00 (75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 豊田 光紀 (TOY-
ODA, Mitsunori) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区
(21) 国際出願番号: PCT/JP2004/016247 丸の内三丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP).
(22) 国際出願日: 2004 年 11 月 2 日 (02.11.2004) (74) 代理人: 山口 孝雄 (YAMAGUCHI, Takao); 〒1010048
(25) 国際出願の言語: 日本語 東京都千代田区神田司町二丁目 10 番地 第一ビル
Tokyo (JP).
(26) 国際公開の言語: 日本語 (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が
可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR,
(30) 優先権データ: 特願 2003-390674 2003 年 11 月 20 日 (20.11.2003) JP. BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,
ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS,
LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA,
NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE,
SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社 UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008331
東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 Tokyo (JP).

[続葉有]

(54) Title: LIGHT FLUX CONVERSION ELEMENT, LIGHTING OPTICAL DEVICE, EXPOSURE SYSTEM, AND EXPOSURE METHOD

(54) 発明の名称: 光束変換素子、照明光学装置、露光装置、および露光方法



(57) Abstract: A lighting optical device capable of forming a bracelet-form lighting pupil distribution in a peripherally-polarized state with a light quantity loss satisfactorily controlled, the device comprising a light flux conversion element (50) for forming a bracelet-form light intensity distribution on a specified surface based on an incident light flux. The light flux conversion element comprises a first basic element (50A) formed of an optically-rotating optical material, for forming a first arcuate area distribution based on an incident light flux out of bracelet-form light intensity distribution, a second basic element (50B) for forming a second arcuate area distribution, a third basic element (50C) for forming a third arcuate area distribution, and fourth basic element (50D) for forming a fourth arcuate area distribution. Respective basic elements have mutually different thicknesses along the light transmitting direction.

[続葉有]

WO 2005/050718 A1



(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告書
- 補正書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約: 光量損失を良好に抑えつつ、周方向偏光状態の輪帯状の照明瞳分布を形成することのできる照明光学装置。本発明の照明光学装置は、入射光束に基づいて所定面に輪帯状の光強度分布を形成するための光束変換素子(50)を備えている。光束変換素子は、旋光性を有する光学材料により形成されて、入射光束に基づいて輪帯状の光強度分布のうちの第1円弧状領域分布を形成するための第1基本素子(50A)と、第2円弧状領域分布を形成するための第2基本素子(50B)と、第3円弧状領域分布を形成するための第3基本素子(50C)と、第4円弧状領域分布を形成するための第4基本素子(50D)とにより構成されている。各基本素子は光の透過方向に沿った厚さが互いに異なる。

明 細 書

光束変換素子、照明光学装置、露光装置、および露光方法

技術分野

- [0001] 本発明は、光束変換素子、照明光学装置、露光装置、および露光方法に関し、特に半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等のマイクロデバイスをリソグラフィ工程で製造する際に使用される露光装置に好適な照明光学装置に関するものである。

背景技術

- [0002] この種の典型的な露光装置においては、光源から射出された光束が、オブティカルインテグレータとしてのフライアイレンズを介して、多数の光源からなる実質的な面光源としての二次光源を形成する。二次光源（一般には、照明光学装置の照明瞳またはその近傍に形成される照明瞳分布）からの光束は、フライアイレンズの後側焦点面の近傍に配置された開口絞りを介して制限された後、コンデンサーレンズに入射する。
- [0003] コンデンサーレンズにより集光された光束は、所定のパターンが形成されたマスクを重疊的に照明する。マスクのパターンを透過した光は、投影光学系を介してウェハ上に結像する。こうして、ウェハ上には、マスクパターンが投影露光（転写）される。なお、マスクに形成されたパターンは高集積化されており、この微細パターンをウェハ上に正確に転写するにはウェハ上において均一な照度分布を得ることが不可欠である。
- [0004] たとえば本出願人の出願にかかる特許第3246615号公報には、任意方向の微細パターンを忠実に転写するのに適した照明条件を実現するために、フライアイレンズの後側焦点面に輪帯状の二次光源を形成し、この輪帯状の二次光源を通過する光束がその周方向を偏光方向とする直線偏光状態（以下、略して「周方向偏光状態」という）になるように設定する技術が開示されている。
- [0005] 特許文献1：特許第3246615号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、上述の公報に開示された従来技術では、フライアイレンズを介して形成された円形状の光束を輪帯状の開口部を有する開口絞りを介して制限することにより輪帯状の二次光源を形成している。その結果、従来技術では、開口絞りにおいて大きな光量損失が発生し、ひいては露光装置のスループットが低下するという不都合があった。

[0007] 本発明は、光量損失を良好に抑えつつ、周方向偏光状態の輪帯状の照明瞳分布を形成することを目的とする。また、本発明は、光量損失を良好に抑えつつ周方向偏光状態の輪帯状の照明瞳分布を形成することによって、適切な照明条件のもとで任意方向の微細パターンを忠実に且つ高スループットで転写することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 前記目的を達成するために、本発明の第1形態では、入射光束に基づいて所定面に所定の光強度分布を形成するための光束変換素子において、

旋光性を有する光学材料により形成されて、前記入射光束に基づいて前記所定の光強度分布のうちの第1領域分布を形成するための第1基本素子と、

旋光性を有する光学材料により形成されて、前記入射光束に基づいて前記所定の光強度分布のうちの第2領域分布を形成するための第2基本素子とを備え、

前記第1基本素子と前記第2基本素子とは、光の透過方向に沿った厚さが互いに異なることを特徴とする光束変換素子を提供する。

[0009] 本発明の第2形態では、入射光束に基づいて、該入射光束の断面形状とは異なる形状の所定の光強度分布を所定面上に形成するための光束変換素子において、

前記所定面上に前記所定の光強度分布を形成するための、回折面または屈折面を備え、

前記所定の光強度分布は、前記所定面における所定点を中心とする所定の輪帯領域である所定輪帯領域の少なくとも一部に分布し、

前記所定輪帯領域を通過する前記光束変換素子からの光束は、前記所定輪帯領域の円周方向を偏光方向とする直線偏光を主成分とする偏光状態を有することを特徴とする光束変換素子を提供する。

[0010] 本発明の第3形態では、光源からの光束に基づいて被照射面を照明する照明光学装置において、

前記照明光学装置の照明瞳またはその近傍に照明瞳分布を形成するために前記光源からの光束を変換するための第1形態または第2形態の光束変換素子を備えていることを特徴とする照明光学装置を提供する。

[0011] 本発明の第4形態では、マスクを照明するための第3形態の照明光学装置を備え、前記マスクのパターンを感光性基板上に露光することを特徴とする露光装置を提供する。

[0012] 本発明の第5形態では、第3形態の照明光学装置を用いてマスクを照明する照明工程と、前記マスクのパターンを感光性基板上に露光する露光工程とを含むことを特徴とする露光方法を提供する。

発明の効果

[0013] 本発明の照明光学装置では、開口絞りにおいて大きな光量損失が発生する従来技術とは異なり、光束変換素子としての回折光学素子の回折作用と旋光作用とにより、光量損失を実質的に発生させることなく、周方向偏光状態の輪帯状の照明瞳分布を形成することができる。すなわち、本発明の照明光学装置では、光量損失を良好に抑えつつ、周方向偏光状態の輪帯状の照明瞳分布を形成することができる。

[0014] また、本発明の照明光学装置を用いる露光装置および露光方法では、光量損失を良好に抑えつつ周方向偏光状態の輪帯状の照明瞳分布を形成することのできる照明光学装置を用いているので、適切な照明条件のもとで任意方向の微細パターンを忠実に且つ高スループットで転写することができ、ひいては高いスループットで良好なデバイスを製造することができる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]本発明の実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

[図2]輪帯照明において形成される輪帯状の二次光源を示す図である。

[図3]図1においてアフォーカルレンズの前側レンズ群と後側レンズ群との間の光路中に配置された円錐アキシコン系の構成を概略的に示す図である。

[図4]輪帯状の二次光源に対する円錐アキシコン系の作用を説明する図である。

[図5]輪帯状の二次光源に対するズームレンズの作用を説明する図である。

[図6]図1においてアフォーカルレンズの前側レンズ群と後側レンズ群との間の光路中に配置された第1シリンドリカルレンズ対および第2シリンドリカルレンズ対の構成を概略的に示す図である。

[図7]輪帯状の二次光源に対する第1シリンドリカルレンズ対および第2シリンドリカルレンズ対の作用を説明する第1の図である。

[図8]輪帯状の二次光源に対する第1シリンドリカルレンズ対および第2シリンドリカルレンズ対の作用を説明する第2の図である。

[図9]輪帯状の二次光源に対する第1シリンドリカルレンズ対および第2シリンドリカルレンズ対の作用を説明する第3の図である。

[図10]図1の偏光モニターの内部構成を概略的に示す斜視図である。

[図11]本実施形態にかかる周方向偏光輪帯照明用の回折光学素子の構成を概略的に示す図である。

[図12]周方向偏光状態に設定された輪帯状の二次光源を概略的に示す図である。

[図13]第1基本素子の作用を説明する図である。

[図14]第2基本素子の作用を説明する図である。

[図15]第3基本素子の作用を説明する図である。

[図16]第4基本素子の作用を説明する図である。

[図17]水晶の旋光性について説明する図である。

[図18]周方向に沿って互いに離間した8つの円弧状領域からなる周方向偏光状態の8極状の二次光源および周方向に沿って互いに離間した4つの円弧状領域からなる周方向偏光状態の4極状の二次光源を示す図である。

[図19]周方向に沿って互いに重複した8つの円弧状領域からなる周方向偏光状態の輪帯状の二次光源を示す図である。

[図20]周方向に沿って互いに離間した6つの円弧状領域からなる周方向偏光状態の6極状の二次光源および周方向に沿って互いに離間した複数領域と光軸上の領域とを持つ周方向偏光状態の二次光源を示す図である。

[図21]周方向偏光輪帯照明用の回折光学素子の入射側の面を平面状にした例を示す図である。

[図22]マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートである。

[図23]マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

発明を実施するための最良の形態

[0016] 本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。

図1は、本発明の実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。図1において、感光性基板であるウェハWの法線方向に沿ってZ軸を、ウェハWの面内において図1の紙面に平行な方向にY軸を、ウェハWの面内において図1の紙面に垂直な方向にX軸をそれぞれ設定している。本実施形態の露光装置は、露光光(照明光)を供給するための光源1を備えている。

[0017] 光源1として、たとえば248nmの波長の光を供給するKrFエキシマレーザ光源や193nmの波長の光を供給するArFエキシマレーザ光源などを用いることができる。光源1からZ方向に沿って射出されたほぼ平行な光束は、X方向に沿って細長く伸びた矩形形状の断面を有し、一对のレンズ2aおよび2bからなるビームエキスパンダー2に入射する。各レンズ2aおよび2bは、図1の紙面内(YZ平面内)において負の屈折力および正の屈折力をそれぞれ有する。したがって、ビームエキスパンダー2に入射した光束は、図1の紙面内において拡大され、所定の矩形形状の断面を有する光束に整形される。

[0018] 整形光学系としてのビームエキスパンダー2を介したほぼ平行な光束は、折り曲げミラー3でY方向に偏向された後、1/4波長板4a、1/2波長板4b、デポライザ(非偏光化素子)4c、および輪帯照明用の回折光学素子5を介して、アフォーカルレンズ6に入射する。ここで、1/4波長板4a、1/2波長板4b、およびデポライザ4cは、後述するように、偏光状態切換手段4を構成している。アフォーカルレンズ6は、その前側焦点位置と回折光学素子5の位置とがほぼ一致し且つその後側焦点位置と図中破線で示す所定面7の位置とがほぼ一致するように設定されたアフォーカル系(無

焦点光学系)である。

[0019] 一般に、回折光学素子は、基板に露光光(照明光)の波長程度のピッチを有する段差を形成することによって構成され、入射ビームを所望の角度に回折する作用を有する。具体的には、輪帯照明用の回折光学素子5は、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合に、そのファーフールド(またはフラウンホーファー回折領域)に輪帯状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、光束変換素子としての回折光学素子5に入射したほぼ平行光束は、アフォーカルレンズ6の瞳面に輪帯状の光強度分布を形成した後、ほぼ平行光束となってアフォーカルレンズ6から射出される。

[0020] なお、アフォーカルレンズ6の前側レンズ群6aと後側レンズ群6bとの間の光路中においてその瞳面またはその近傍には、光源側から順に、円錐アキシコン系8、第1シリンドリカルレンズ対9、および第2シリンドリカルレンズ対10が配置されているが、その詳細な構成および作用については後述する。以下、説明を簡単にするために、円錐アキシコン系8、第1シリンドリカルレンズ対9、および第2シリンドリカルレンズ対10の作用を無視して、基本的な構成および作用を説明する。

[0021] アフォーカルレンズ6を介した光束は、 σ 値可変用のズームレンズ11を介して、オプティカルインテグレータとしてのマイクロフライアイレンズ(またはフライアイレンズ)12に入射する。マイクロフライアイレンズ12は、縦横に且つ稠密に配列された多数の正屈折力を有する微小レンズからなる光学素子である。一般に、マイクロフライアイレンズは、たとえば平行平板にエッチング処理を施して微小レンズ群を形成することによって構成される。

[0022] ここで、マイクロフライアイレンズを構成する各微小レンズは、フライアイレンズを構成する各レンズエレメントよりも微小である。また、マイクロフライアイレンズは、互いに隔絶されたレンズエレメントからなるフライアイレンズとは異なり、多数の微小レンズ(微小屈折面)が互いに隔絶されることなく一体的に形成されている。しかしながら、正屈折力を有するレンズ要素が縦横に配置されている点でマイクロフライアイレンズはフライアイレンズと同じ波面分割型のオプティカルインテグレータである。

[0023] 所定面7の位置はズームレンズ11の前側焦点位置の近傍に配置され、マイクロフラ

アイレンズ12の入射面はズームレンズ11の後側焦点位置の近傍に配置されている。換言すると、ズームレンズ11は、所定面7とマイクロフライアイレンズ12の入射面とを実質的にフーリエ変換の関係に配置し、ひいてはアフォーカルレンズ6の瞳面とマイクロフライアイレンズ12の入射面とを光学的にほぼ共役に配置している。

[0024] したがって、マイクロフライアイレンズ12の入射面上には、アフォーカルレンズ6の瞳面と同様に、たとえば光軸AXを中心とした輪帯状の照野が形成される。この輪帯状の照野の全体形状は、ズームレンズ11の焦点距離に依存して相似的变化する。マイクロフライアイレンズ12を構成する各微小レンズは、マスクM上において形成すべき照野の形状(ひいてはウェハW上において形成すべき露光領域の形状)と相似な矩形状の断面を有する。

[0025] マイクロフライアイレンズ12に入射した光束は多数の微小レンズにより二次元的に分割され、その後側焦点面(ひいては照明瞳)には、図2に示すように、入射光束によって形成される照野とほぼ同じ光強度分布を有する二次光源、すなわち光軸AXを中心とした輪帯状の実質的な面光源からなる二次光源が形成される。マイクロフライアイレンズ12の後側焦点面に形成された二次光源(一般的には照明光学装置の瞳面またはその近傍に形成された照明瞳分布)からの光束は、ビームスプリッター13aおよびコンデンサー光学系14を介した後、マスクブラインド15を重畳的に照明する。

[0026] こうして、照明視野絞りとしてのマスクブラインド15には、マイクロフライアイレンズ12を構成する各微小レンズの形状と焦点距離とに応じた矩形状の照野が形成される。なお、ビームスプリッター13aを内蔵する偏光モニター13の内部構成および作用については後述する。マスクブラインド15の矩形状の開口部(光透過部)を介した光束は、結像光学系16の集光作用を受けた後、所定のパターンが形成されたマスクMを重畳的に照明する。

[0027] すなわち、結像光学系16は、マスクブラインド15の矩形状開口部の像をマスクM上に形成することになる。マスクMのパターンを透過した光束は、投影光学系PLを介して、感光性基板であるウェハW上にマスクパターンの像を形成する。こうして、投影光学系PLの光軸AXと直交する平面(XY平面)内においてウェハWを二次元的に駆動制御しながら一括露光またはスキャン露光を行うことにより、ウェハWの各露光領

域にはマスクMのパターンが逐次露光される。

- [0028] なお、偏光状態切換手段4において、 $1/4$ 波長板4aは、光軸AXを中心として結晶光学軸が回転自在に構成されて、入射する楕円偏光の光を直線偏光の光に変換する。また、 $1/2$ 波長板4bは、光軸AXを中心として結晶光学軸が回転自在に構成されて、入射する直線偏光の偏光面を変化させる。また、デポライザ4cは、相補的な形状を有する楔形状の水晶プリズム(不図示)と楔形状の石英プリズム(不図示)とにより構成されている。水晶プリズムと石英プリズムとは、一体的なプリズム組立体として、照明光路に対して挿脱自在に構成されている。
- [0029] 光源1としてKrFエキシマレーザ光源やArFエキシマレーザ光源を用いる場合、これらの光源から射出される光は典型的には95%以上の偏光度を有し、 $1/4$ 波長板4aにはほぼ直線偏光の光が入射する。しかしながら、光源1と偏光状態切換手段4との間の光路中に裏面反射鏡としての直角プリズムが介在する場合、入射する直線偏光の偏光面がP偏光面またはS偏光面に一致していないと、直角プリズムでの全反射により直線偏光が楕円偏光に変わる。
- [0030] 偏光状態切換手段4では、たとえば直角プリズムでの全反射に起因して楕円偏光の光が入射しても、 $1/4$ 波長板4aの作用により変換された直線偏光の光が $1/2$ 波長板4bに入射する。 $1/2$ 波長板4bの結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定された場合、 $1/2$ 波長板4bに入射した直線偏光の光は偏光面が変化することなくそのまま通過する。
- [0031] また、 $1/2$ 波長板4bの結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定された場合、 $1/2$ 波長板4bに入射した直線偏光の光は偏光面が90度だけ変化した直線偏光の光に変換される。さらに、デポライザ4cの水晶プリズムの結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定された場合、水晶プリズムに入射した直線偏光の光は非偏光状態の光に変換(非偏光化)される。
- [0032] 偏光状態切換手段4では、デポライザ4cが照明光路中に位置決めされたときに水晶プリズムの結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように構成されている。ちなみに、水晶プリズムの結晶光学軸が入射する直線偏光

の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定された場合、水晶プリズムに入射した直線偏光の光は偏光面が変化することなくそのまま通過する。また、 $1/2$ 波長板4bの結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して22.5度の角度をなすように設定された場合、 $1/2$ 波長板4bに入射した直線偏光の光は、偏光面が変化することなくそのまま通過する直線偏光成分と偏光面が90度だけ変化した直線偏光成分とを含む非偏光状態の光に変換される。

[0033] 偏光状態切換手段4では、上述したように、直線偏光の光が $1/2$ 波長板4bに入射するが、以下の説明を簡単にするために、図1においてZ方向に偏光方向(電場の方向)を有する直線偏光(以下、「Z方向偏光」と称する)の光が $1/2$ 波長板4bに入射するものとする。デポライザ4cを照明光路中に位置決めした場合、 $1/2$ 波長板4bの結晶光学軸を入射するZ方向偏光の偏光面(偏光方向)に対して0度または90度の角度をなすように設定すると、 $1/2$ 波長板4bに入射したZ方向偏光の光は偏光面が変化することなくZ方向偏光のまま通過してデポライザ4cの水晶プリズムに入射する。水晶プリズムの結晶光学軸は入射するZ方向偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定されているので、水晶プリズムに入射したZ方向偏光の光は非偏光状態の光に変換される。

[0034] 水晶プリズムを介して非偏光化された光は、光の進行方向を補償するためのコンペンセータとしての石英プリズムを介して、非偏光状態で回折光学素子5に入射する。一方、 $1/2$ 波長板4bの結晶光学軸を入射するZ方向偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定すると、 $1/2$ 波長板4bに入射したZ方向偏光の光は偏光面が90度だけ変換し、図1においてX方向に偏光方向(電場の方向)を有する直線偏光(以下、「X方向偏光」と称する)の光になってデポライザ4cの水晶プリズムに入射する。水晶プリズムの結晶光学軸は入射するX方向偏光の偏光面に対しても45度の角度をなすように設定されているので、水晶プリズムに入射したX方向偏光の光は非偏光状態の光に変換され、石英プリズムを介して、非偏光状態で回折光学素子5に入射する。

[0035] これに対し、デポライザ4cを照明光路から退避させた場合、 $1/2$ 波長板4bの結晶光学軸を入射するZ方向偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすよう

に設定すると、1/2波長板4bに入射したZ方向偏光の光は偏光面が変化することなくZ方向偏光のまま通過し、Z方向偏光状態で回折光学素子5に入射する。一方、1/2波長板4bの結晶光学軸を入射するZ方向偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定すると、1/2波長板4bに入射したZ方向偏光の光は偏光面が90度だけ変化してX方向偏光の光になり、X方向偏光状態で回折光学素子5に入射する。

[0036] 以上のように、偏光状態切換手段4では、デポライザ4cを照明光路中に挿入して位置決めすることにより、非偏光状態の光を回折光学素子5に入射させることができる。また、デポライザ4cを照明光路から退避させ且つ1/2波長板4bの結晶光学軸を入射するZ方向偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定することにより、Z方向偏光状態の光を回折光学素子5に入射させることができる。さらに、デポライザ4cを照明光路から退避させ且つ1/2波長板4bの結晶光学軸を入射するZ方向偏光の偏光面に対して45度をなすように設定することにより、X方向偏光状態の光を回折光学素子5に入射させることができる。

[0037] 換言すれば、偏光状態切換手段4では、1/4波長板4aと1/2波長板4bとデポライザ4cとからなる偏光状態切換手段の作用により、回折光学素子5への入射光の偏光状態(後述する本発明にかかる周方向偏光輪帯照明用の回折光学素子以外の通常の回折光学素子を用いている場合にはマスクMおよびウェハWを照明する光の偏光状態)を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えることができ、直線偏光状態の場合には互いに直交する偏光状態間(Z方向偏光とX方向偏光との間)で切り換えることができる。

[0038] 図3は、図1においてアフォーカルレンズの前側レンズ群と後側レンズ群との間の光路中に配置された円錐アキシコン系の構成を概略的に示す図である。円錐アキシコン系8は、光源側から順に、光源側に平面を向け且つマスク側に凹円錐状の屈折面を向けた第1プリズム部材8aと、マスク側に平面を向け且つ光源側に凸円錐状の屈折面を向けた第2プリズム部材8bとから構成されている。

[0039] そして、第1プリズム部材8aの凹円錐状の屈折面と第2プリズム部材8bの凸円錐状の屈折面とは、互いに当接可能なように相補的に形成されている。また、第1プリズム

部材8aおよび第2プリズム部材8bのうち少なくとも一方の部材が光軸AXに沿って移動可能に構成され、第1プリズム部材8aの凹円錐状の屈折面と第2プリズム部材8bの凸円錐状の屈折面との間隔が可変に構成されている。

[0040] ここで、第1プリズム部材8aの凹円錐状屈折面と第2プリズム部材8bの凸円錐状屈折面とが互いに当接している状態では、円錐アキシコン系8は平行平板として機能し、形成される輪帯状の二次光源に及ぼす影響はない。しかしながら、第1プリズム部材8aの凹円錐状屈折面と第2プリズム部材8bの凸円錐状屈折面とを離間させると、円錐アキシコン系8は、いわゆるビームエキスパンダーとして機能する。したがって、円錐アキシコン系8の間隔の変化に伴って、所定面7への入射光束の角度は変化する。

[0041] 図4は、輪帯状の二次光源に対する円錐アキシコン系の作用を説明する図である。図4を参照すると、円錐アキシコン系8の間隔が零で且つズームレンズ11の焦点距離が最小値に設定された状態(以下、「標準状態」という)で形成された最も小さい輪帯状の二次光源30aが、円錐アキシコン系8の間隔を零から所定の値まで拡大させることにより、その幅(外径と内径との差の $1/2$: 図中矢印で示す)が変化することなく、その外径および内径がともに拡大された輪帯状の二次光源30bに変化する。換言すると、円錐アキシコン系8の作用により、輪帯状の二次光源の幅が変化することなく、その輪帯比(内径/外径)および大きさ(外径)がともに変化する。

[0042] 図5は、輪帯状の二次光源に対するズームレンズの作用を説明する図である。図5を参照すると、標準状態で形成された輪帯状の二次光源30aが、ズームレンズ11の焦点距離を最小値から所定の値へ拡大させることにより、その全体形状が相似的に拡大された輪帯状の二次光源30cに変化する。換言すると、ズームレンズ11の作用により、輪帯状の二次光源の輪帯比が変化することなく、その幅および大きさ(外径)がともに変化する。

[0043] 図6は、図1においてアフォーカルレンズの前側レンズ群と後側レンズ群との間の光路中に配置された第1シリンドリカルレンズ対および第2シリンドリカルレンズ対の構成を概略的に示す図である。図6において、光源側から順に、第1シリンドリカルレンズ対9および第2シリンドリカルレンズ対10が配置されている。第1シリンドリカルレンズ

対9は、光源側から順に、たとえばYZ平面内に負屈折力を有し且つXY平面内に無屈折力の第1シリンダリカル負レンズ9aと、同じくYZ平面内に正屈折力を有し且つXY平面内に無屈折力の第1シリンダリカル正レンズ9bとにより構成されている。

[0044] 一方、第2シリンダリカルレンズ対10は、光源側から順に、たとえばXY平面内に負屈折力を有し且つYZ平面内に無屈折力の第2シリンダリカル負レンズ10aと、同じくXY平面内に正屈折力を有し且つYZ平面内に無屈折力の第2シリンダリカル正レンズ10bとにより構成されている。第1シリンダリカル負レンズ9aと第1シリンダリカル正レンズ9bとは、光軸AXを中心として一体的に回転するように構成されている。同様に、第2シリンダリカル負レンズ10aと第2シリンダリカル正レンズ10bとは、光軸AXを中心として一体的に回転するように構成されている。

[0045] こうして、図6に示す状態において、第1シリンダリカルレンズ対9はZ方向にパワーを有するビームエキスパンダーとして機能し、第2シリンダリカルレンズ対10はX方向にパワーを有するビームエキスパンダーとして機能する。なお、第1シリンダリカルレンズ対9のパワーと第2シリンダリカルレンズ対10のパワーとは、互いに同じに設定されている。

[0046] 図7〜図9は、輪帯状の二次光源に対する第1シリンダリカルレンズ対および第2シリンダリカルレンズ対の作用を説明する図である。図7では、第1シリンダリカルレンズ対9のパワー方向がZ軸に対して光軸AX廻りに+45度の角度をなし、第2シリンダリカルレンズ対10のパワー方向がZ軸に対して光軸AX廻りに-45度の角度をなすように設定されている。

[0047] したがって、第1シリンダリカルレンズ対9のパワー方向と第2シリンダリカルレンズ対10のパワー方向とが互いに直交し、第1シリンダリカルレンズ対9と第2シリンダリカルレンズ対10との合成系においてZ方向のパワーとX方向のパワーとが互いに同じになる。その結果、図7に示す真円状態では、第1シリンダリカルレンズ対9と第2シリンダリカルレンズ対10との合成系を通過する光束は、Z方向およびX方向に同じパワーで拡大作用を受けることになり、照明瞳には真円輪帯状の二次光源が形成されることになる。

[0048] これに対し、図8では、第1シリンダリカルレンズ対9のパワー方向がZ軸に対して光

軸AX廻りに例えば+80度の角度をなし、第2シリンドリカルレンズ対10のパワー方向がZ軸に対して光軸AX廻りに例えば-80度の角度をなすように設定されている。したがって、第1シリンドリカルレンズ対9と第2シリンドリカルレンズ対10との合成系において、Z方向のパワーよりもX方向のパワーの方が大きくなる。その結果、図8に示す横楕円状態では、第1シリンドリカルレンズ対9と第2シリンドリカルレンズ対10との合成系を通過する光束は、Z方向よりもX方向の方が大きなパワーで拡大作用を受けることになり、照明瞳にはX方向に細長い横長の輪帯状の二次光源が形成されることになる。

[0049] 一方、図9では、第1シリンドリカルレンズ対9のパワー方向がZ軸に対して光軸AX廻りに例えば+10度の角度をなし、第2シリンドリカルレンズ対10のパワー方向がZ軸に対して光軸AX廻りに例えば-10度の角度をなすように設定されている。したがって、第1シリンドリカルレンズ対9と第2シリンドリカルレンズ対10との合成系において、X方向のパワーよりもZ方向のパワーの方が大きくなる。その結果、図9に示す縦楕円状態では、第1シリンドリカルレンズ対9と第2シリンドリカルレンズ対10との合成系を通過する光束は、X方向よりもZ方向の方が大きなパワーで拡大作用を受けることになり、照明瞳にはZ方向に細長い縦長の輪帯状の二次光源が形成されることになる。

[0050] さらに、第1シリンドリカルレンズ対9および第2シリンドリカルレンズ対10を図7に示す真円状態と図8に示す横楕円状態との間の任意の状態に設定することにより、様々な縦横比にしたがう横長の輪帯状の二次光源を形成することができる。また、第1シリンドリカルレンズ対9および第2シリンドリカルレンズ対10を図7に示す真円状態と図9に示す縦楕円状態との間の任意の状態に設定することにより、様々な縦横比にしたがう縦長の輪帯状の二次光源を形成することができる。

[0051] 図10は、図1の偏光モニターの内部構成を概略的に示す斜視図である。図10を参照すると、偏光モニター13は、マイクロフライアイレンズ12とコンデンサー光学系14との間の光路中に配置された第1ビームスプリッター13aを備えている。第1ビームスプリッター13aは、たとえば石英ガラスにより形成されたノンコート平行平板(すなわち素ガラス)の形態を有し、入射光の偏光状態とは異なる偏光状態の反射光を光路

から取り出す機能を有する。

- [0052] 第1ビームスプリッター13aにより光路から取り出された光は、第2ビームスプリッター13bに入射する。第2ビームスプリッター13bは、第1ビームスプリッター13aと同様に、例えば石英ガラスにより形成されたノンコート平行平面板の形態を有し、入射光の偏光状態とは異なる偏光状態の反射光を発生させる機能を有する。そして、第1ビームスプリッター13aに対するP偏光が第2ビームスプリッター13bに対するS偏光になり、且つ第1ビームスプリッター13aに対するS偏光が第2ビームスプリッター13bに対するP偏光になるように設定されている。
- [0053] また、第2ビームスプリッター13bを透過した光は第1光強度検出器13cにより検出され、第2ビームスプリッター13bで反射された光は第2光強度検出器13dにより検出される。第1光強度検出器13cおよび第2光強度検出器13dの出力は、それぞれ制御部(不図示)に供給される。制御部は、偏光状態切換手段4を構成する1/4波長板4a、1/2波長板4bおよびデポライザ4cを必要に応じて駆動する。
- [0054] 上述のように、第1ビームスプリッター13aおよび第2ビームスプリッター13bにおいて、P偏光に対する反射率とS偏光に対する反射率とが実質的に異なっている。したがって、偏光モニター13では、第1ビームスプリッター13aからの反射光が、例えば第1ビームスプリッター13aへの入射光の10%程度のS偏光成分(第1ビームスプリッター13aに対するS偏光成分であって第2ビームスプリッター13bに対するP偏光成分)と、例えば第1ビームスプリッター13aへの入射光の1%程度のP偏光成分(第1ビームスプリッター13aに対するP偏光成分であって第2ビームスプリッター13bに対するS偏光成分)とを含むことになる。
- [0055] また、第2ビームスプリッター13bからの反射光は、例えば第1ビームスプリッター13aへの入射光の $10\% \times 1\% = 0.1\%$ 程度のP偏光成分(第1ビームスプリッター13aに対するP偏光成分であって第2ビームスプリッター13bに対するS偏光成分)と、例えば第1ビームスプリッター13aへの入射光の $1\% \times 10\% = 0.1\%$ 程度のS偏光成分(第1ビームスプリッター13aに対するS偏光成分であって第2ビームスプリッター13bに対するP偏光成分)とを含むことになる。
- [0056] こうして、偏光モニター13では、第1ビームスプリッター13aが、その反射特性に応

じて、入射光の偏光状態とは異なる偏光状態の反射光を光路から取り出す機能を有する。その結果、第2ビームスプリッター13bの偏光特性による偏光変動の影響を僅かに受けるものの、第1光強度検出器13cの出力(第2ビームスプリッター13bの透過光の強度に関する情報、すなわち第1ビームスプリッター13aからの反射光とほぼ同じ偏光状態の光の強度に関する情報)に基づいて、第1ビームスプリッター13aへの入射光の偏光状態(偏光度)を、ひいてはマスクMへの照明光の偏光状態を検知することができる。

[0057] また、偏光モニター13では、第1ビームスプリッター13aに対するP偏光が第2ビームスプリッター13bに対するS偏光になり且つ第1ビームスプリッター13aに対するS偏光が第2ビームスプリッター13bに対するP偏光になるように設定されている。その結果、第2光強度検出器13dの出力(第1ビームスプリッター13aおよび第2ビームスプリッター13bで順次反射された光の強度に関する情報)に基づいて、第1ビームスプリッター13aへの入射光の偏光状態の変化の影響を実質的に受けることなく、第1ビームスプリッター13aへの入射光の光量(強度)を、ひいてはマスクMへの照明光の光量を検知することができる。

[0058] こうして、偏光モニター13を用いて、第1ビームスプリッター13aへの入射光の偏光状態を検知し、ひいてはマスクMへの照明光が所望の非偏光状態または直線偏光状態になっているか否かを判定することができる。そして、制御部が偏光モニター13の検知結果に基づいてマスクM(ひいてはウェハW)への照明光が所望の非偏光状態または直線偏光状態になっていないことを確認した場合、偏光状態切換手段4を構成する $1/4$ 波長板4a、 $1/2$ 波長板4bおよびデポライザ4cを駆動調整し、マスクMへの照明光の状態を所望の非偏光状態または直線偏光状態に調整することができる。

[0059] なお、輪帯照明用の回折光学素子5に代えて、4極照明用の回折光学素子(不図示)を照明光路中に設定することによって、4極照明を行うことができる。4極照明用の回折光学素子は、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合に、そのファーストフィールドに4極状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、4極照明用の回折光学素子を介した光束は、マイクロファイバレンズ12の入射面に、たとえば

光軸AXを中心とした4つの円形状の照野からなる4極状の照野を形成する。その結果、マイクロフライアイレンズ12の後側焦点面にも、その入射面に形成された照野と同じ4極状の二次光源が形成される。

[0060] また、輪帯照明用の回折光学素子5に代えて、円形照明用の回折光学素子(不図示)を照明光路中に設定することによって、通常の円形照明を行うことができる。円形照明用の回折光学素子は、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合に、ファースフィールドに円形状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、円形照明用の回折光学素子を介した光束は、マイクロフライアイレンズ12の入射面に、たとえば光軸AXを中心とした円形状の照野からなる4極状の照野を形成する。その結果、マイクロフライアイレンズ12の後側焦点面にも、その入射面に形成された照野と同じ円形状の二次光源が形成される。

[0061] さらに、輪帯照明用の回折光学素子5に代えて、他の複数極照明用の回折光学素子(不図示)を照明光路中に設定することによって、様々な複数極照明(2極照明、8極照明など)を行うことができる。同様に、輪帯照明用の回折光学素子5に代えて、適当な特性を有する回折光学素子(不図示)を照明光路中に設定することによって、様々な形態の変形照明を行うことができる。

[0062] 本実施形態では、輪帯照明用の回折光学素子5に代えて、いわゆる周方向偏光輪帯照明用の回折光学素子50を照明光路中に設定することによって、輪帯状の二次光源を通過する光束が周方向偏光状態に設定された変形照明、すなわち周方向偏光輪帯照明を行うことができる。図11は、本実施形態にかかる周方向偏光輪帯照明用の回折光学素子の構成を概略的に示す図である。また、図12は、周方向偏光状態に設定された輪帯状の二次光源を概略的に示す図である。

[0063] 図11および図12を参照すると、本実施形態にかかる周方向偏光輪帯照明用の回折光学素子50は、互いに同じ矩形状の断面を有し且つ光の透過方向(Y方向)に沿った厚さ(光軸方向の長さ)が互いに異なる4種類の基本素子50A〜50Dを縦横に且つ稠密に配置することにより構成されている。ここで、第1基本素子50Aの厚さが最も大きく、第4基本素子50Dの厚さが最も小さく、第2基本素子50Bの厚さは第3基本素子50Cの厚さよりも大きく設定されている。

- [0064] また、回折光学素子50は、第1基本素子50Aと第2基本素子50Bと第3基本素子50Cと第4基本素子50Dとをほぼ同数含み、4種類の基本素子50A～50Dはほぼランダム配置されている。さらに、各基本素子50A～50Dのマスク側には回折面(図中斜線部で示す)が形成され、各基本素子50A～50Dの回折面が光軸AX(図11では不図示)と直交する1つの平面に沿うように整列されている。その結果、回折光学素子50のマスク側の面は平面状であるが、回折光学素子50の光源側の面は各基本素子50A～50Dの厚さの違いにより凹凸状になっている。
- [0065] そして、第1基本素子50Aの回折面は、図12に示す輪帯状の二次光源31のうち、光軸AXを通るZ方向の軸線に関して対称的な一对の円弧状領域31Aを形成するように構成されている。すなわち、図13に示すように、第1基本素子50Aは、回折光学素子50のファースフィールド(ひいては各基本素子50A～50Dのファースフィールド)50Eに光軸AXを通るZ方向の軸線に関して対称的な一对の円弧状の光強度分布32A(一对の円弧状領域31Aに対応)を形成する機能を有する。
- [0066] 第2基本素子50Bの回折面は、光軸AXを通るZ方向の軸線をY軸廻りに -45° 回転させた(図12中反時計回りに 45° 回転させた)軸線に関して対称的な一对の円弧状領域31Bを形成するように構成されている。すなわち、図14に示すように、第2基本素子50Bは、ファースフィールド50Eに、光軸AXを通るZ方向の軸線をY軸廻りに -45° 回転させた軸線に関して対称的な一对の円弧状の光強度分布32B(一对の円弧状領域31Bに対応)を形成する機能を有する。
- [0067] 第3基本素子50Cの回折面は、光軸AXを通るX方向の軸線に関して対称的な一对の円弧状領域31Cを形成するように構成されている。すなわち、図15に示すように、第3基本素子50Cは、ファースフィールド50Eに、光軸AXを通るX方向の軸線に関して対称的な一对の円弧状の光強度分布32C(一对の円弧状領域31Cに対応)を形成する機能を有する。
- [0068] 第4基本素子50Dの回折面は、光軸AXを通るZ方向の軸線をY軸廻りに $+45^\circ$ 回転させた(図12中時計回りに 45° 回転させた)軸線に関して対称的な一对の円弧状領域31Dを形成するように構成されている。すなわち、図16に示すように、第4基本素子50Dは、ファースフィールド50Eに、光軸AXを通るZ方向の軸線をY軸廻りに

+45度回転させた軸線に関して対称的な一対の円弧状の光強度分布32D(一対の円弧状領域31Dに対応)を形成する機能を有する。なお、各円弧状領域31A〜31Dの大きさは互いにほぼ等しく、8つの円弧状領域31A〜31Dが互いに重複することなく且つ互いに離間することなく、光軸AXを中心とした輪帯状の二次光源31を構成している。

[0069] また、本実施形態では、各基本素子50A〜50Dが旋光性を有する光学材料である水晶により構成され、各基本素子50A〜50Dの結晶光学軸が光軸AXとほぼ一致するように設定されている。以下、図17を参照して、水晶の旋光性について簡単に説明する。図17を参照すると、厚さdの水晶からなる平行平板状の光学部材35が、その結晶光学軸と光軸AXとが一致するように配置されている。この場合、光学部材35の旋光性により、入射した直線偏光の偏光方向が光軸AX廻りに θ だけ回転した状態で射出される。

[0070] このとき、光学部材35の旋光性による偏光方向の回転角 θ は、光学部材35の厚さdと水晶の旋光能 ρ とにより、次の式(1)で表わされる。

$$\theta = d \cdot \rho \quad (1)$$

一般に、水晶の旋光能 ρ は使用光の波長が短くなると大きくなる傾向があるが、「応用光学II」の第167頁の記述によれば、250.3nmの波長を有する光に対する水晶の旋光能 ρ は153.9度/mmである。

[0071] 本実施形態において、第1基本素子50Aは、図13に示すように、Z方向に偏光方向を有する直線偏光の光が入射した場合、Z方向をY軸廻りに+180度回転させた方向すなわちZ方向に偏光方向を有する直線偏光の光を射出するように厚さdAが設定されている。その結果、ファーフールド50Eに形成される一対の円弧状の光強度分布32Aを通過する光束の偏光方向もZ方向になり、図12に示す一対の円弧状領域31Aを通過する光束の偏光方向もZ方向になる。

[0072] 第2基本素子50Bは、図14に示すように、Z方向に偏光方向を有する直線偏光の光が入射した場合、Z方向をY軸廻りに+135度回転させた方向すなわちZ方向をY軸廻りに-45度回転させた方向に偏光方向を有する直線偏光の光を射出するように厚さdBが設定されている。その結果、ファーフールド50Eに形成される一対の円弧

状の光強度分布32Bを通過する光束の偏光方向もZ方向をY軸廻りに-45度回転させた方向になり、図12に示す一対の円弧状領域31Aを通過する光束の偏光方向もZ方向をY軸廻りに-45度回転させた方向になる。

- [0073] 第3基本素子50Cは、図15に示すように、Z方向に偏光方向を有する直線偏光の光が入射した場合、Z方向をY軸廻りに+90度回転させた方向すなわちX方向に偏光方向を有する直線偏光の光を射出するように厚さdCが設定されている。その結果、ファーフールド50Eに形成される一対の円弧状の光強度分布32Cを通過する光束の偏光方向もX方向になり、図12に示す一対の円弧状領域31Cを通過する光束の偏光方向もX方向になる。
- [0074] 第4基本素子50Dは、図16に示すように、Z方向に偏光方向を有する直線偏光の光が入射した場合、Z方向をY軸廻りに+45度回転させた方向に偏光方向を有する直線偏光の光を射出するように厚さdDが設定されている。その結果、ファーフールド50Eに形成される一対の円弧状の光強度分布32Dを通過する光束の偏光方向もZ方向をY軸廻りに+45度回転させた方向になり、図12に示す一対の円弧状領域31Dを通過する光束の偏光方向もZ方向をY軸廻りに+45度回転させた方向になる。
- [0075] 本実施形態では、周方向偏光輪帯照明に際して、周方向偏光輪帯照明用の回折光学素子50を照明光路中に設定し、Z方向に偏光方向を有する直線偏光の光を回折光学素子50に入射させる。その結果、マイクロフライアイレンズ12の後側焦点面（すなわち照明瞳またはその近傍）には、図12に示すように、輪帯状の二次光源（輪帯状の照明瞳分布）31が形成され、この輪帯状の二次光源31を通過する光束が周方向偏光状態に設定される。
- [0076] 周方向偏光状態では、輪帯状の二次光源31を構成する円弧状領域31A〜31Dをそれぞれ通過する光束は、各円弧状領域31A〜31Dの円周方向に沿った中心位置における光軸AXを中心とする円の接線とほぼ一致する偏光方向を有する直線偏光状態になる。
- [0077] このように本実施形態では、入射光束に基づいて所定面に所定の光強度分布を形成するための光束変換素子50が、旋光性を有する光学材料により形成されて、前記入射光束に基づいて前記所定の光強度分布のうちの第1領域分布32Aを形成する

ための第1基本素子50Aと;旋光性を有する光学材料により形成されて、前記入射光束に基づいて前記所定の光強度分布のうちの第2領域分布32Bを形成するための第2基本素子50Bとを備えており、第1基本素子50Aと第2基本素子50Bとの光の透過方向に沿った厚さが互いに異なっている。

[0078] このような構成により、本実施形態では、開口絞りにおいて大きな光量損失が発生する従来技術とは異なり、光束変換素子としての回折光学素子50の回折作用と旋光作用とにより、光量損失を実質的に発生させることなく、周方向偏光状態の輪帯状の二次光源31を形成することができる。

[0079] ここで、本実施形態の好ましい態様によれば、第1基本素子50Aの厚さおよび第2基本素子50Bの厚さは、直線偏光が入射したときに第1領域分布32Aを形成する直線偏光の偏光方向と第2領域分布32Bを形成する直線偏光の偏光方向とが異なるように設定されている。また、第1領域分布32Aおよび第2領域分布32Bは、所定面における所定点を中心とする所定の輪帯領域である所定輪帯領域の少なくとも一部に位置決めされ、第1領域分布32Aおよび第2領域分布32Bを通過する光束は、所定輪帯領域の円周方向を偏光方向とする直線偏光を主成分とする偏光状態を有することが好ましい。

[0080] この場合、所定の光強度分布は、所定輪帯領域とほぼ同一形状の外形を有し、第1領域分布32Aを通過する光束の偏光状態は、第1領域分布32Aの円周方向に沿った中心位置における所定点を中心とする円の接線方向とほぼ一致した直線偏光成分を有し、第2領域分布32Bを通過する光束の偏光状態は、第2領域分布32Bの円周方向に沿った中心位置における所定点を中心とする円の接線方向とほぼ一致した直線偏光成分を有することが好ましい。あるいは、所定の光強度分布は、所定輪帯領域内に分布する多極状であり、第1領域分布を通過する光束の偏光状態は、第1領域分布の円周方向に沿った中心位置における所定点を中心とする円の接線方向とほぼ一致した直線偏光成分を有し、第2領域分布を通過する光束の偏光状態は、第2領域分布の円周方向に沿った中心位置における所定点を中心とする円の接線方向とほぼ一致した直線偏光成分を有することが好ましい。

[0081] また、本実施形態の好ましい態様によれば、第1基本素子および第2基本素子は、

使用波長の光に対して100度/mm以上の旋光能を有する光学材料により形成されている。また、第1基本素子および第2基本素子は、水晶により形成されていることが好ましい。また、光束変換素子は、第1基本素子と第2基本素子とをほぼ同数含むことが好ましい。また、第1基本素子および第2基本素子は、回折作用または屈折作用を有することが好ましい。

[0082] また、本実施形態の好ましい態様によれば、第1基本素子は、入射光束に基づいて少なくとも2つの第1領域分布を所定面上に形成し、第2基本素子は、入射光束に基づいて少なくとも2つの第2領域分布を所定面上に形成することが好ましい。また、旋光性を有する光学材料により形成されて、入射光束に基づいて所定の光強度分布のうちの第3領域分布32Cを形成するための第3基本素子50Cと、旋光性を有する光学材料により形成されて、入射光束に基づいて所定の光強度分布のうちの第4領域分布32Dを形成するための第4基本素子50Dとをさらに備えていることが好ましい。

[0083] また、本実施形態では、入射光束に基づいて、該入射光束の断面形状とは異なる形状の所定の光強度分布を所定面上に形成するための光束変換素子50が、所定面上に所定の光強度分布を形成するための、回折面または屈折面を備え、所定の光強度分布は、所定面における所定点を中心とする所定の輪帯領域である所定輪帯領域の少なくとも一部に分布し、所定輪帯領域を通過する光束変換素子からの光束は、所定輪帯領域の円周方向を偏光方向とする直線偏光を主成分とする偏光状態を有している。

[0084] このような構成により、本実施形態では、開口絞りにおいて大きな光量損失が発生する従来技術とは異なり、光束変換素子としての回折光学素子50の回折作用と旋光作用とにより、光量損失を実質的に発生させることなく、周方向偏光状態の輪帯状の二次光源31を形成することができる。

[0085] 本実施形態の好ましい態様によれば、所定の光強度分布は、多極形状または輪帯状の外形を有する。また、光束変換素子は、旋光性を有する光学材料により形成されることが好ましい。

[0086] また、本実施形態の照明光学装置は、光源からの光束に基づいて被照射面を照明

する照明光学装置であって、照明光学装置の照明瞳またはその近傍に照明瞳分布を形成するために光源からの光束を変換するために上述の光束変換素子を備えている。このような構成により、本実施形態の照明光学装置では、光量損失を良好に抑えつつ、周方向偏光状態の輪帯状の照明瞳分布を形成することができる。

- [0087] ここで、光束変換素子は、特性の異なる他の光束変換素子と交換可能に構成されていることが好ましい。また、光束変換素子と被照射面との間の光路中に配置された波面分割型のオプティカルインテグレータをさらに備え、光束変換素子は、入射光束に基づいてオプティカルインテグレータの入射面に所定の光強度分布を形成することが好ましい。
- [0088] また、本実施形態の照明光学装置の好ましい態様によれば、所定面上の光強度分布と、所定輪帯領域を通過する光束変換素子からの光束の偏光状態との少なくとも何れか一方は、光源と被照射面との間の光路中に配置される光学部材による影響を考慮して設定される。また、光束変換素子からの光束の偏光状態を、被照射面に照射される光がS偏光を主成分とする偏光状態となるように設定することが好ましい。
- [0089] また、本実施形態の露光装置は、マスクを照明するための上述の照明光学装置を備え、マスクのパターンを感光性基板上に露光する。ここで、所定面上の光強度分布と、所定輪帯領域を通過する光束変換素子からの光束の偏光状態との少なくとも何れか一方は、光源と感光性基板との間の光路中に配置される光学部材による影響を考慮して設定されることが好ましい。また、光束変換素子からの光束の偏光状態を、感光性基板上に照射される光がS偏光を主成分とする偏光状態となるように設定することが好ましい。
- [0090] また、本実施形態の露光方法では、上述の照明光学装置を用いてマスクを照明する照明工程と、マスクのパターンを感光性基板上に露光する露光工程とを含んでいる。ここで、所定面上の光強度分布と、所定輪帯領域を通過する光束変換素子からの光束の偏光状態との少なくとも何れか一方は、光源と感光性基板との間の光路中に配置される光学部材による影響を考慮して設定されることが好ましい。また、光束変換素子からの光束の偏光状態を、感光性基板上に照射される光がS偏光を主成分とする偏光状態となるように設定することが好ましい。

- [0091] 換言すれば、本実施形態の照明光学装置では、光量損失を良好に抑えつつ、周方向偏光状態の輪帯状の照明瞳分布を形成することができる。その結果、本実施形態の露光装置では、光量損失を良好に抑えつつ周方向偏光状態の輪帯状の照明瞳分布を形成することのできる照明光学装置を用いているので、適切な照明条件のもとで任意方向の微細パターンを忠実に且つ高スループットで転写することができる。
- [0092] なお、周方向偏光状態の輪帯状の照明瞳分布に基づく周方向偏光輪帯照明では、被照射面としてのウェハWに照射される光がS偏光を主成分とする偏光状態になる。ここで、S偏光とは、入射面に対して垂直な方向に偏光方向を持つ直線偏光(入射面に垂直な方向に電気ベクトルが振動している偏光)のことである。ただし、入射面とは、光が媒質の境界面(被照射面:ウェハWの表面)に達したときに、その点での境界面の法線と光の入射方向とを含む面として定義される。
- [0093] なお、上述の実施形態では、互いに同じ矩形状の断面を有する4種類の基本素子50A〜50Dをほぼ同数だけ縦横に且つ稠密にランダム配置することにより、周方向偏光輪帯照明用の回折光学素子50を構成している。しかしながら、これに限定されることなく、各基本素子の数、断面形状、種類数、配置などについて様々な変形例が可能である。
- [0094] また、上述の実施形態では、4種類の基本素子50A〜50Dからなる回折光学素子50を用いて、互いに重複することなく且つ互いに離間することなく配列された8つの円弧状領域31A〜31Dにより、光軸AXを中心とした輪帯状の二次光源31を構成している。しかしながら、これに限定されることなく、輪帯状の二次光源を構成する領域の数、形状、配置などについて様々な変形例が可能である。
- [0095] 具体的には、図18(a)に示すように、たとえば4種類の基本素子からなる回折光学素子を用いて、周方向に沿って互いに離間した8つの円弧状領域からなる周方向偏光状態の8極状の二次光源33aを形成することもできる。また、図18(b)に示すように、たとえば4種類の基本素子からなる回折光学素子を用いて、周方向に沿って互いに離間した4つの円弧状領域からなる周方向偏光状態の4極状の二次光源33bを形成することもできる。なお、これらの8極状の二次光源または4極状の二次光源におい

て、各領域の形状は円弧状に限定されることなく、たとえば円形状や楕円状や扇形状であってもよい。また、図19に示すように、たとえば4種類の基本素子からなる回折光学素子を用いて、周方向に沿って互いに重複した8つの円弧状領域からなる周方向偏光状態の輪帯状の二次光源33cを形成することもできる。

[0096] また、周方向に沿って互いに離間した4つまたは8つの領域からなる周方向偏光状態の4極状または8極状の二次光源の他に、図20(a)に示すように、周方向に沿って互いに離間した6つの領域からなる周方向偏光状態の6極状の二次光源を形成しても良い。また、図20(b)に示すように、周方向に沿って互いに離間した複数の領域からなる周方向偏光状態の多極状の二次光源と、光軸上の領域からなる非偏光状態または直線偏光状態の中心極上の二次光源とを持つ二次光源を形成しても良い。また、周方向に沿って互いに離間した2つの領域からなる周方向偏光状態の2極状の二次光源を形成しても良い。

[0097] また、上述の実施形態では、図11に示すように、4種類の基本素子50A～50Dを個別に形成し、これらの素子を組み合わせることにより回折光学素子50を構成している。しかしながら、これに限定されることなく、1つの水晶基板に対して例えばエッチング加工を施すことにより各基本素子50A～50Dの射出側の回折面および入射側の凹凸面を形成し、回折光学素子50を一体的に構成することもできる。

[0098] また、上述の実施形態では、水晶を用いて各基本素子50A～50Dを(ひいては回折光学素子50を)形成している。しかしながら、これに限定されることなく、旋光性を有する他の適当な光学材料を用いて各基本素子を形成することもできる。この場合、使用波長の光に対して100度/mm以上の旋光能を有する光学材料を用いることが好ましい。すなわち、旋光能の小さい光学材料を用いると、偏光方向の所要回転角を得るために必要な厚さが大きくなり過ぎて、光量損失の原因になるので好ましくない。

[0099] また、上述の実施形態では、輪帯状の照明瞳分布(二次光源)を形成しているが、これに限定されることなく、照明瞳またはその近傍に円形状の照明瞳分布を形成することもできる。また、輪帯形状の照明瞳分布や多極形状の照明瞳分布に加えて、たとえば光軸を含む中心領域分布を形成することにより、いわゆる中心極を伴う輪帯照

明や中心極を伴う複数極照明を行うこともできる。

- [0100] また、上述の実施形態では、照明瞳またはその近傍において周方向偏光状態の照明瞳分布を形成している。しかしながら、光束変換素子としての回折光学素子よりもウェハ側の光学系(照明光学系や投影光学系)の偏光収差(リターデーション)に起因して偏光方向が変わることがある。この場合には、これらの光学系の偏光収差の影響を考慮した上で、照明瞳またはその近傍に形成される照明瞳分布を通過する光束の偏光状態を適宜設定する必要がある。
- [0101] また、上記の偏光収差に関連して、光束変換素子よりもウェハ側の光学系(照明光学系や投影光学系)中に配置された反射部材の偏光特性に起因して、反射光が偏光方向ごとに位相差を有することがある。この場合においても、反射部材の偏光特性に起因する位相差の影響を考慮した上で、照明瞳またはその近傍に形成される照明瞳分布を通過する光束の偏光状態を適宜設定する必要がある。
- [0102] また、光束変換素子よりもウェハ側の光学系(照明光学系や投影光学系)中に配置された反射部材の偏光特性に起因して、反射部材における反射率が偏光方向により変化することがある。この場合、偏光方向ごとの反射率を考慮して、照明瞳またはその近傍に形成される光強度分布にオフセットをのせること、すなわち各基本素子の数に分布を設けることが好ましい。また、光束変換素子よりもウェハ側の光学系における透過率が偏光方向により変化する場合にも、上記手法を同様に適用することができる。
- [0103] また、上述の実施形態では、回折光学素子50の光源側の面は各基本素子50A〜50Dの厚さの違いにより段差を有する凹凸状になっている。そこで、図21に示すように、厚さの最も大きい第1基本素子50A以外の基本素子、すなわち第2基本素子50B、第3基本素子50Cおよび第4基本素子50Dの入射側に補正部材36を付設して、回折光学素子50の光源側(入射側)の面も平面状に構成することができる。この場合、旋光性を有しない光学材料を用いて補正部材36を形成することになる。
- [0104] また、上述の実施形態では、照明瞳またはその近傍に形成される照明瞳分布を通過する光束が円周方向に沿った直線偏光成分のみを有する例を示している。しかしながら、これに限定されることなく、照明瞳分布を通過する光束の偏光状態が円周方

向を偏光方向とする直線偏光を主成分とする状態であれば、本発明の所要の効果を
得ることができる。

[0105] また、上述の実施形態では、入射光束に基づいて、その断面形状とは異なる形状
の光強度分布を所定面上に形成するための光束変換素子として、回折作用を有す
る複数種類の基本素子からなる回折光学素子を用いている。しかしながら、これに限
定されることなく、たとえば各基本素子の回折面と光学的にほぼ等価な屈折面を有
する複数種類の基本素子、すなわち屈折作用を有する複数種類の基本素子からな
る屈折光学素子を光束変換素子として用いていることもできる。

[0106] 上述の実施形態にかかる露光装置では、照明光学装置によってマスク(レチクル)
を照明し(照明工程)、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを
感光性基板に露光する(露光工程)ことにより、マイクロデバイス(半導体素子、撮像
素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等)を製造することができる。以下、上述の実
施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウェハ等に所定の回路パターンを形
成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例
につき図22のフローチャートを参照して説明する。

[0107] 先ず、図22のステップ301において、1ロットのウェハ上に金属膜が蒸着される。次
のステップ302において、その1ロットのウェハ上の金属膜上にフォトレジストが塗布さ
れる。その後、ステップ303において、上述の実施形態の露光装置を用いて、マスク
上のパターンの像がその投影光学系を介して、その1ロットのウェハ上の各ショット領
域に順次露光転写される。その後、ステップ304において、その1ロットのウェハ上の
フォトレジストの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウェハ上で
レジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに
対応する回路パターンが、各ウェハ上の各ショット領域に形成される。その後、更に
上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが
製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターン
を有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。

[0108] また、上述の実施形態の露光装置では、プレート(ガラス基板)上に所定のパターン
(回路パターン、電極パターン等)を形成することによって、マイクロデバイスとしての

液晶表示素子を得ることもできる。以下、図23のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。図23において、パターン形成工程401では、上述の実施形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィー工程が実行される。この光リソグラフィー工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レジスト剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程402へ移行する。

[0109] 次に、カラーフィルター形成工程402では、R (Red)、G (Green)、B (Blue) に対応した3つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、またはR、G、Bの3本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列したカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実行される。セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。

[0110] セル組み立て工程403では、例えば、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。その後、モジュール組み立て工程404にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

[0111] なお、上述の実施形態では、露光光としてKrFエキシマレーザ光（波長：248nm）やArFエキシマレーザ光（波長：193nm）を用いているが、これに限定されることなく、他の適当なレーザ光源、たとえば波長157nmのレーザ光を供給するF₂レーザ光源などに対して本発明を適用することもできる。さらに、上述の実施形態では、照明光学装置を備えた露光装置を例にとって本発明を説明したが、マスクやウェハ以外の被照射面を照明するための一般的な照明光学装置に本発明を適用することがで

きることは明らかである。

[0112] また、上述の実施形態において、投影光学系と感光性基板との間の光路中を1. 1よりも大きな屈折率を有する媒体(典型的には液体)で満たす手法、所謂液浸法を適用しても良い。この場合、投影光学系と感光性基板との間の光路中に液体を満たす手法としては、国際公開番号WO99/49504号公報に開示されているような局所的に液体を満たす手法や、特開平6-124873号公報に開示されているような露光対象の基板を保持したステージを液槽の中で移動させる手法や、特開平10-303114号公報に開示されているようなステージ上に所定深さの液体槽を形成し、その中に基板を保持する手法などを採用することができる。ここでは、国際公開番号WO99/49504号公報、特開平6-124873号公報および特開平10-303114号公報を参照として援用する。

[0113] なお、液体としては、露光光に対する透過性があるだけ屈折率が高く、投影光学系や基板表面に塗布されているフォトリソグに対して安定なものを用いることが好ましく、たとえばKrFエキシマレーザ光やArFエキシマレーザ光を露光光とする場合には、液体として純水、脱イオン水を用いることができる。また、露光光としてF₂レーザ光を用いる場合は、液体としてはF₂レーザ光を透過可能な例えばフッ素系オイルや過フッ化ポリエーテル(PFPE)等のフッ素系の液体を用いればよい。

符号の説明

- [0114] 1 光源
4 偏光状態切換手段
4a 1/4波長板
4b 1/2波長板
4c デポラライザ
5, 50 回折光学素子(光束変換素子)
6 アフォーカルレンズ
8 円錐アキシコン系
9, 10 シリンドリカルレンズ対
11 ズームレンズ

12 マイクロフライアイレンズ

13 偏光モニター

13a ビームスプリッター

14 コンデンサー光学系

15 マスクブラインド

16 結像光学系

M マスク

PL 投影光学系

W ウェハ

請求の範囲

- [1] 入射光束に基づいて所定面に所定の光強度分布を形成するための光束変換素子において、
- 旋光性を有する光学材料により形成されて、前記入射光束に基づいて前記所定の光強度分布のうちの第1領域分布を形成するための第1基本素子と、
- 旋光性を有する光学材料により形成されて、前記入射光束に基づいて前記所定の光強度分布のうちの第2領域分布を形成するための第2基本素子とを備え、
- 前記第1基本素子と前記第2基本素子とは、光の透過方向に沿った厚さが互いに異なることを特徴とする光束変換素子。
- [2] 前記第1基本素子の厚さおよび前記第2基本素子の厚さは、直線偏光が入射したときに前記第1領域分布を形成する直線偏光の偏光方向と前記第2領域分布を形成する直線偏光の偏光方向とが異なるように設定されていることを特徴とする請求項1に記載の光束変換素子。
- [3] 前記第1領域分布および前記第2領域分布は、前記所定面における所定点を中心とする所定の輪帯領域である所定輪帯領域の少なくとも一部に位置決めされ、
- 前記第1領域分布および前記第2領域分布を通過する光束は、前記所定輪帯領域の円周方向を偏光方向とする直線偏光を主成分とする偏光状態を有することを特徴とする請求項1または2に記載の光束変換素子。
- [4] 前記所定の光強度分布は、前記所定輪帯領域とほぼ同一形状の外形を有し、
- 前記第1領域分布を通過する光束の偏光状態は、前記第1領域分布の円周方向に沿った中心位置における前記所定点を中心とする円の接線方向とほぼ一致した直線偏光成分を有し、
- 前記第2領域分布を通過する光束の偏光状態は、前記第2領域分布の円周方向に沿った中心位置における前記所定点を中心とする円の接線方向とほぼ一致した直線偏光成分を有することを特徴とする請求項3に記載の光束変換素子。
- [5] 前記所定の光強度分布は、前記所定輪帯領域内に分布する多極状であり、
- 前記第1領域分布を通過する光束の偏光状態は、前記第1領域分布の円周方向に沿った中心位置における前記所定点を中心とする円の接線方向とほぼ一致した

直線偏光成分を有し、

前記第2領域分布を通過する光束の偏光状態は、前記第2領域分布の円周方向に沿った中心位置における前記所定点を中心とする円の接線方向とほぼ一致した直線偏光成分を有することを特徴とする請求項3に記載の光束変換素子。

- [6] 前記第1基本素子および前記第2基本素子は、使用波長の光に対して100度/mm以上の旋光能を有する光学材料により形成されていることを特徴とする請求項1乃至5のいずれか1項に記載の光束変換素子。
- [7] 前記第1基本素子および前記第2基本素子は、水晶により形成されていることを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の光束変換素子。
- [8] 前記光束変換素子は、前記第1基本素子と前記第2基本素子とをほぼ同数含むことを特徴とする請求項1乃至7のいずれか1項に記載の光束変換素子。
- [9] 前記第1基本素子および前記第2基本素子は、回折作用または屈折作用を有することを特徴とする請求項1乃至8のいずれか1項に記載の光束変換素子。
- [10] 前記第1基本素子は、前記入射光束に基づいて少なくとも2つの前記第1領域分布を前記所定面上に形成し、
- 前記第2基本素子は、前記入射光束に基づいて少なくとも2つの前記第2領域分布を前記所定面上に形成することを特徴とする請求項1乃至9のいずれか1項に記載の光束変換素子。
- [11] 旋光性を有する光学材料により形成されて、前記入射光束に基づいて前記所定の光強度分布のうちの第3領域分布を形成するための第3基本素子と、
- 旋光性を有する光学材料により形成されて、前記入射光束に基づいて前記所定の光強度分布のうちの第4領域分布を形成するための第4基本素子とをさらに備えていることを特徴とする請求項1乃至10のいずれか1項に記載の光束変換素子。
- [12] 前記第1基本素子および前記第2基本素子は一体的に形成されていることを特徴とする請求項1乃至11のいずれか1項に記載の光束変換素子。
- [13] 入射光束に基づいて、該入射光束の断面形状とは異なる形状の所定の光強度分布を所定面上に形成するための光束変換素子において、

前記所定面上に前記所定の光強度分布を形成するための、回折面または屈折面

を備え、

前記所定の光強度分布は、前記所定面における所定点を中心とする所定の輪帯領域である所定輪帯領域の少なくとも一部に分布し、

前記所定輪帯領域を通過する前記光束変換素子からの光束は、前記所定輪帯領域の円周方向を偏光方向とする直線偏光を主成分とする偏光状態を有することを特徴とする光束変換素子。

- [14] 前記所定の光強度分布は、多極形状または輪帯状の外形を有することを特徴とする請求項13に記載の光束変換素子。
- [15] 前記光束変換素子は、旋光性を有する光学材料により形成されることを特徴とする請求項13または14に記載の光束変換素子。
- [16] 光源からの光束に基づいて被照射面を照明する照明光学装置において、
前記照明光学装置の照明瞳またはその近傍に照明瞳分布を形成するために前記光源からの光束を変換するための請求項1乃至15のいずれか1項に記載の光束変換素子を備えていることを特徴とする照明光学装置。
- [17] 前記光束変換素子は、特性の異なる他の光束変換素子と交換可能に構成されていることを特徴とする請求項16に記載の照明光学装置。
- [18] 前記光束変換素子と前記被照射面との間の光路中に配置された波面分割型のオプティカルインテグレータをさらに備え、
前記光束変換素子は、入射光束に基づいて前記オプティカルインテグレータの入射面に前記所定の光強度分布を形成することを特徴とする請求項16または17に記載の照明光学装置。
- [19] 前記所定面上の光強度分布と、前記所定輪帯領域を通過する前記光束変換素子からの光束の偏光状態との少なくとも何れか一方は、前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置される光学部材による影響を考慮して設定されることを特徴とする請求項16乃至18のいずれか1項に記載の照明光学装置。
- [20] 前記光束変換素子からの光束の偏光状態を、前記被照射面に照射される光がS偏光を主成分とする偏光状態となるように設定することを特徴とする請求項16乃至19のいずれか1項に記載の照明光学装置。

- [21] マスクを照明するための請求項16乃至20のいずれか1項に記載の照明光学装置を備え、前記マスクのパターンを感光性基板上に露光することを特徴とする露光装置。
- [22] 前記所定面上の光強度分布と、前記所定輪帯領域を通過する前記光束変換素子からの光束の偏光状態との少なくとも何れか一方は、前記光源と前記感光性基板との間の光路中に配置される光学部材による影響を考慮して設定されることを特徴とする請求項21に記載の露光装置。
- [23] 前記光束変換素子からの光束の偏光状態を、前記感光性基板に照射される光がS偏光を主成分とする偏光状態となるように設定することを特徴とする請求項22に記載の露光装置。
- [24] 請求項16乃至20のいずれか1項に記載の照明光学装置を用いてマスクを照明する照明工程と、前記マスクのパターンを感光性基板上に露光する露光工程とを含むことを特徴とする露光方法。
- [25] 前記所定面上の光強度分布と、前記所定輪帯領域を通過する前記光束変換素子からの光束の偏光状態との少なくとも何れか一方は、前記光源と前記感光性基板との間の光路中に配置される光学部材による影響を考慮して設定されることを特徴とする請求項24に記載の露光方法。
- [26] 前記光束変換素子からの光束の偏光状態を、前記感光性基板に照射される光がS偏光を主成分とする偏光状態となるように設定することを特徴とする請求項24または25に記載の露光方法。

補正書の請求の範囲

[2005年3月10日(10.03.2005)国際事務局受理：新しい請求の範囲27-51が加えられた；他の請求の範囲は変更なし。(4頁)]

- [21] マスクを照明するための請求項16乃至20のいずれか1項に記載の照明光学装置を備え、前記マスクのパターンを感光性基板上に露光することを特徴とする露光装置。
- [22] 前記所定面上の光強度分布と、前記所定輪帯領域を通過する前記光束変換素子からの光束の偏光状態との少なくとも何れか一方は、前記光源と前記感光性基板との間の光路中に配置される光学部材による影響を考慮して設定されることを特徴とする請求項21に記載の露光装置。
- [23] 前記光束変換素子からの光束の偏光状態を、前記感光性基板に照射される光がS偏光を主成分とする偏光状態となるように設定することを特徴とする請求項22に記載の露光装置。
- [24] 請求項16乃至20のいずれか1項に記載の照明光学装置を用いてマスクを照明する照明工程と、前記マスクのパターンを感光性基板上に露光する露光工程とを含むことを特徴とする露光方法。
- [25] 前記所定面上の光強度分布と、前記所定輪帯領域を通過する前記光束変換素子からの光束の偏光状態との少なくとも何れか一方は、前記光源と前記感光性基板との間の光路中に配置される光学部材による影響を考慮して設定されることを特徴とする請求項24に記載の露光方法。
- [26] 前記光束変換素子からの光束の偏光状態を、前記感光性基板に照射される光がS偏光を主成分とする偏光状態となるように設定することを特徴とする請求項24または25に記載の露光方法。
- [27] 旋光性を有する光学材料により形成されて、前記入射光束に基づいて前記所定の光強度分布のうちの第1領域分布を形成するための第1基本素子と、
旋光性を有する光学材料により形成されて、前記入射光束に基づいて前記所定の光強度分布のうちの第2領域分布を形成するための第2基本素子とを備え、
前記第1基本素子と前記第2基本素子とは、光の透過方向に沿った厚さが互いに異なることを特徴とする請求項15に記載の光束変換素子。
- [28] 前記第1基本素子の厚さおよび前記第2基本素子の厚さは、直線偏光が入射したときに前記第1領域分布を形成する直線偏光の偏光方向と前記第2領域分布を形成す

る直線偏光の偏光方向とが異なるように設定されていることを特徴とする請求項 27 に記載の光束変換素子。

- [29] 前記第 1 領域分布および前記第 2 領域分布は、前記所定面における所定点を中心とする所定の輪帯領域である所定輪帯領域の少なくとも一部に位置決めされ、

前記第 1 領域分布および前記第 2 領域分布を通過する光束は、前記所定輪帯領域の円周方向を偏光方向とする直線偏光を主成分とする偏光状態を有することを特徴とする請求項 27 または 28 に記載の光束変換素子。

- [30] 前記所定の光強度分布は、前記所定輪帯領域とほぼ同一形状の外形を有し、

前記第 1 領域分布を通過する光束の偏光状態は、前記第 1 領域分布の円周方向に沿った中心位置における前記所定点を中心とする円の接線方向とほぼ一致した直線偏光成分を有し、

前記第 2 領域分布を通過する光束の偏光状態は、前記第 2 領域分布の円周方向に沿った中心位置における前記所定点を中心とする円の接線方向とほぼ一致した直線偏光成分を有することを特徴とする請求項 29 に記載の光束変換素子。

- [31] 前記所定の光強度分布は、前記所定輪帯領域内に分布する多極状であり、

前記第 1 領域分布を通過する光束の偏光状態は、前記第 1 領域分布の円周方向に沿った中心位置における前記所定点を中心とする円の接線方向とほぼ一致した直線偏光成分を有し、

前記第 2 領域分布を通過する光束の偏光状態は、前記第 2 領域分布の円周方向に沿った中心位置における前記所定点を中心とする円の接線方向とほぼ一致した直線偏光成分を有することを特徴とする請求項 29 に記載の光束変換素子。

- [32] 前記光束変換素子は、前記第 1 基本素子と前記第 2 基本素子とをほぼ同数含むことを特徴とする請求項 27 乃至 31 のいずれか 1 項に記載の光束変換素子。

- [33] 前記第 1 基本素子および前記第 2 基本素子は、回折作用または屈折作用を有することを特徴とする請求項 27 乃至 32 のいずれか 1 項に記載の光束変換素子。

- [34] 前記第 1 基本素子は、前記入射光束に基づいて少なくとも 2 つの前記第 1 領域分布を前記所定面上に形成し、

前記第 2 基本素子は、前記入射光束に基づいて少なくとも 2 つの前記第 2 領域分

布を前記所定面上に形成することを特徴とする請求項 27 乃至 33 のいずれか 1 項に記載の光束変換素子。

- [35] 旋光性を有する光学材料により形成されて、前記入射光束に基づいて前記所定の光強度分布のうちの第 3 領域分布を形成するための第 3 基本素子と、

旋光性を有する光学材料により形成されて、前記入射光束に基づいて前記所定の光強度分布のうちの第 4 領域分布を形成するための第 4 基本素子とをさらに備えていることを特徴とする請求項 27 乃至 34 のいずれか 1 項に記載の光束変換素子。

- [36] 前記第 1 基本素子および前記第 2 基本素子は一体的に形成されていることを特徴とする請求項 27 乃至 35 のいずれか 1 項に記載の光束変換素子。

- [37] 前記光束変換素子は、光源からの光束に基づいて被照射面を照明する照明光学装置に用いられ、

前記照明光学装置の照明瞳またはその近傍に照明瞳分布を形成することを特徴とする請求項 1 乃至 15 および請求項 27 乃至 36 のいずれか 1 項に記載の光束変換素子。

- [38] 光源からの光束に基づいて被照明物体を照明する照明光学装置に用いられる回折光学素子であって、

前記照明光学装置の照明瞳面またはその近傍の面である所定面に所定の光強度分布を形成するための凹凸状の光学部材を備え、

該光学部材は、前記所定の光強度分布に所定の偏光状態を与えるための厚みの異なる部分を備えていることを特徴とする回折光学素子。

- [39] 前記被照明物体は、所定のパターンが形成されたマスクであることを特徴とする請求項 38 に記載の回折光学素子。

- [40] 前記回折光学素子は、前記光源と前記被照明物体との間の光路中に配置されるものであることを特徴とする請求項 38 または 39 に記載の回折光学素子。

- [41] 光源からの光束に基づいてマスクを照明する照明光学装置に用いられる回折光学素子であって、

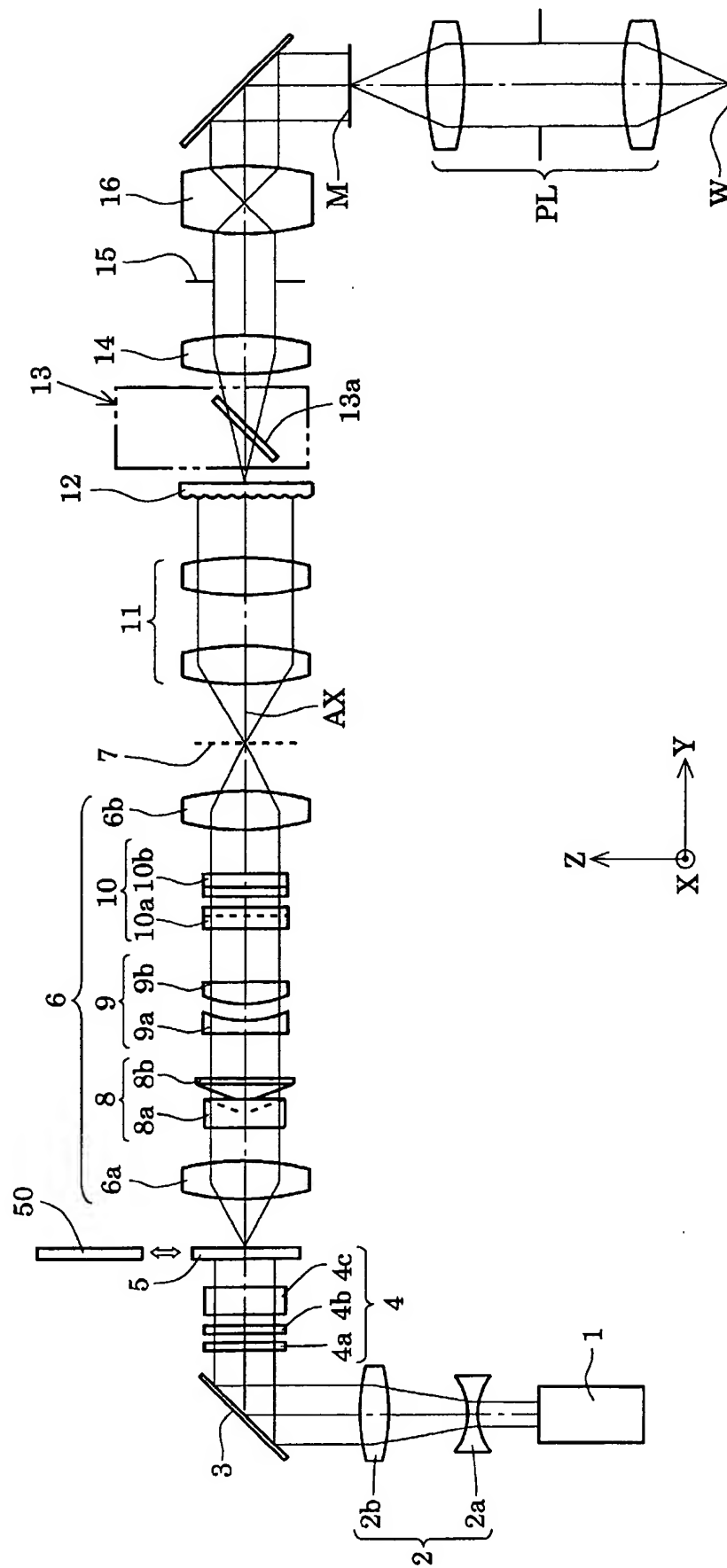
所定面に所定の光強度分布を形成するための凹凸状の光学部材を備え、

該光学部材は、前記所定の光強度分布に所定の偏光状態を与えるための厚みの異

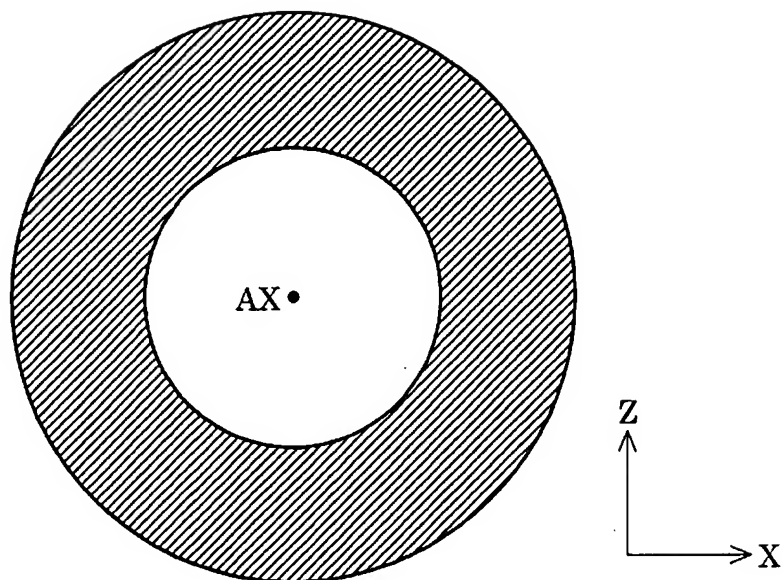
なる部分を備えていることを特徴とする回折光学素子。

- [42] 前記所定面は、前記照明光学装置の照明瞳面またはその近傍の面であることを特徴とする請求項4 1に記載の回折光学素子。
- [43] 前記回折光学素子は、前記光源と前記マスクとの間の光路中に配置されるものであることを特徴とする請求項4 1または4 2に記載の回折光学素子。
- [44] 前記所定の偏光状態は、前記所定面における所定点を中心とする所定の輪帯領域である所定輪帯領域の円周方向を偏光方向とする直線偏光を主成分とする偏光状態を有することを特徴とする請求項3 8乃至4 3のいずれか1項に記載の回折光学素子。
- [45] 前記所定の光強度分布は、前記所定輪帯領域内に位置決めされた輪帯状または多極形状であることを特徴とする請求項4 4に記載の回折光学素子。
- [46] 前記所定の光強度分布は、輪帯状または多極形状であることを特徴とする請求項3 8乃至4 3のいずれか1項に記載の回折光学素子。
- [47] 前記凹凸状の光学部材は水晶から形成されることを特徴とする請求項3 8乃至4 6のいずれか1項に記載の回折光学素子。
- [48] 前記凹凸状の光学部材は旋光性を有する光学材料により形成されることを特徴とする請求項3 8乃至4 7のいずれか1項に記載の回折光学素子。
- [49] マスクを照明するための照明光学装置であって、
請求項3 8乃至4 8のいずれか1項に記載の前記回折光学素子を備えていることを特徴とする照明光学装置。
- [50] 請求項4 9に記載の照明光学装置を備え、
前記マスクのパターンを感光性基板上に露光することを特徴とする露光装置。
- [51] 請求項4 9に記載の照明光学装置を用いてマスクを照明する照明工程と、前記マスクのパターンを感光性基板上に露光する露光工程とを含むことを特徴とする露光方法。

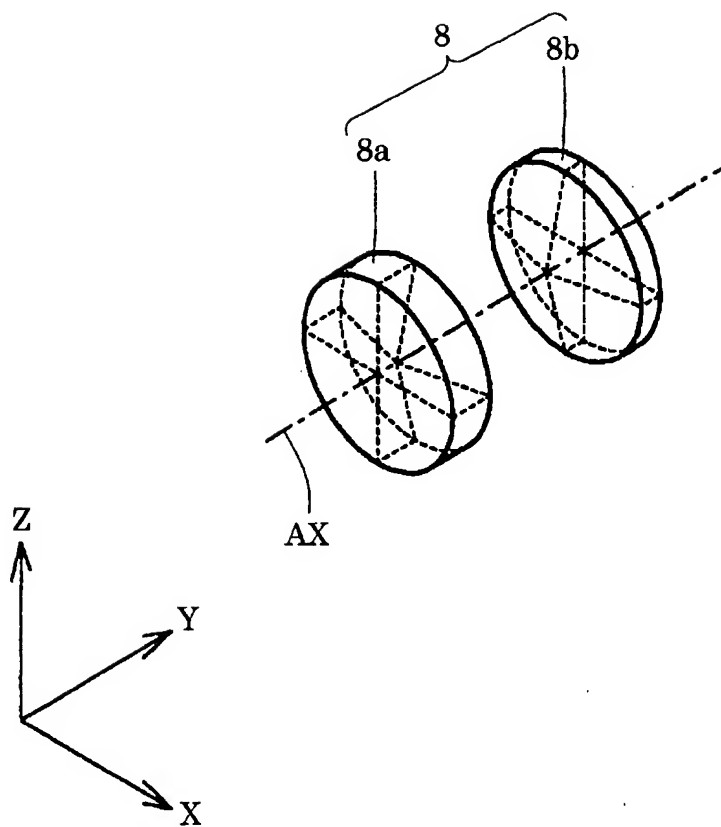
[図1]



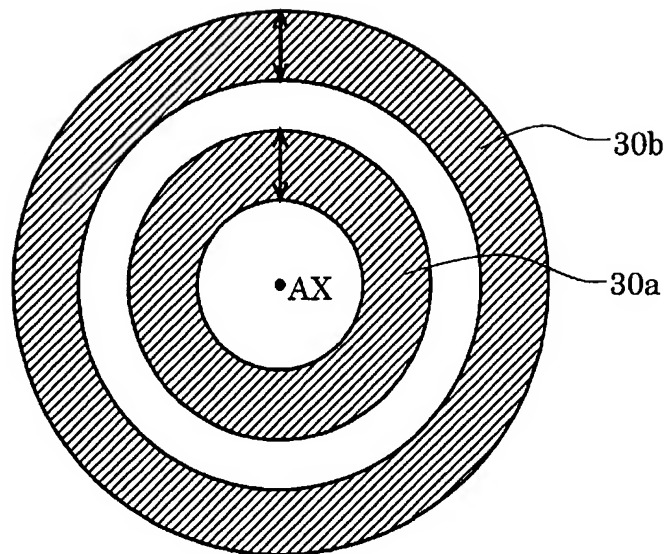
[図2]



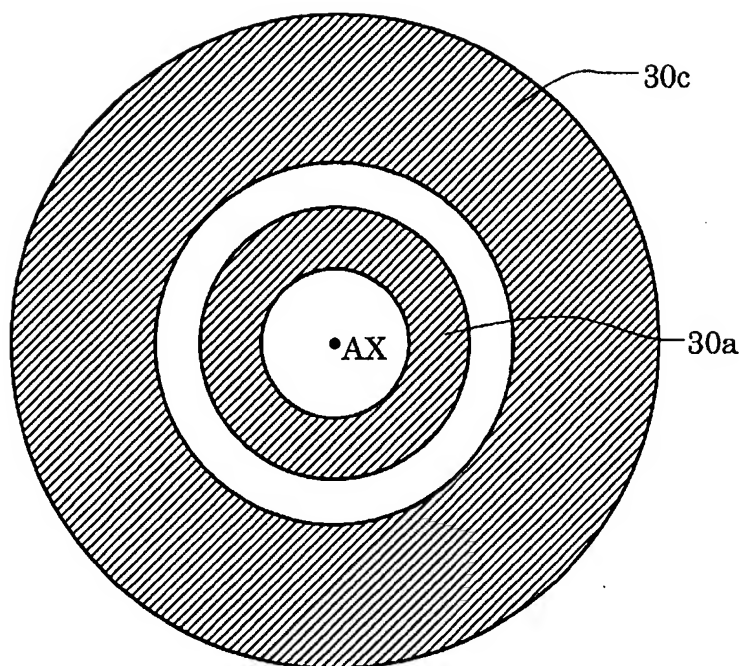
[図3]



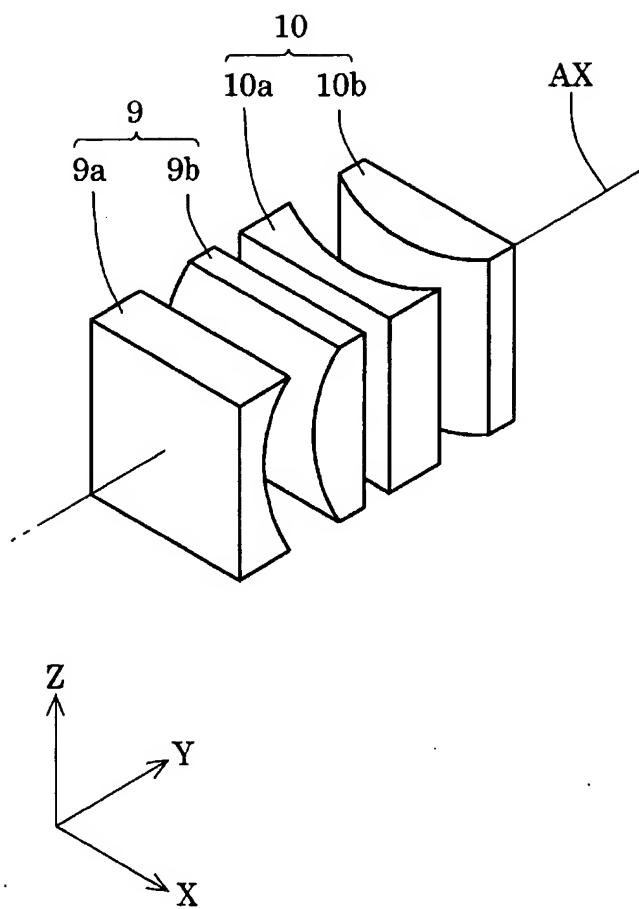
[図4]



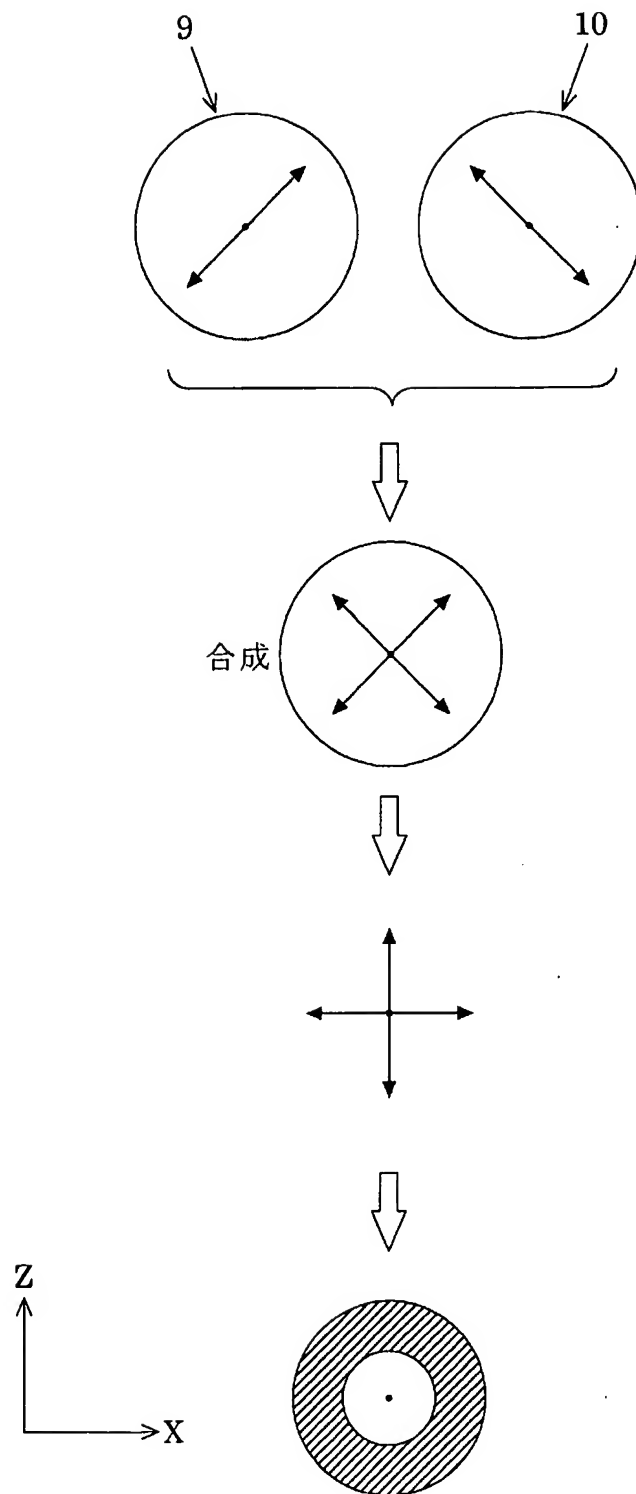
[図5]



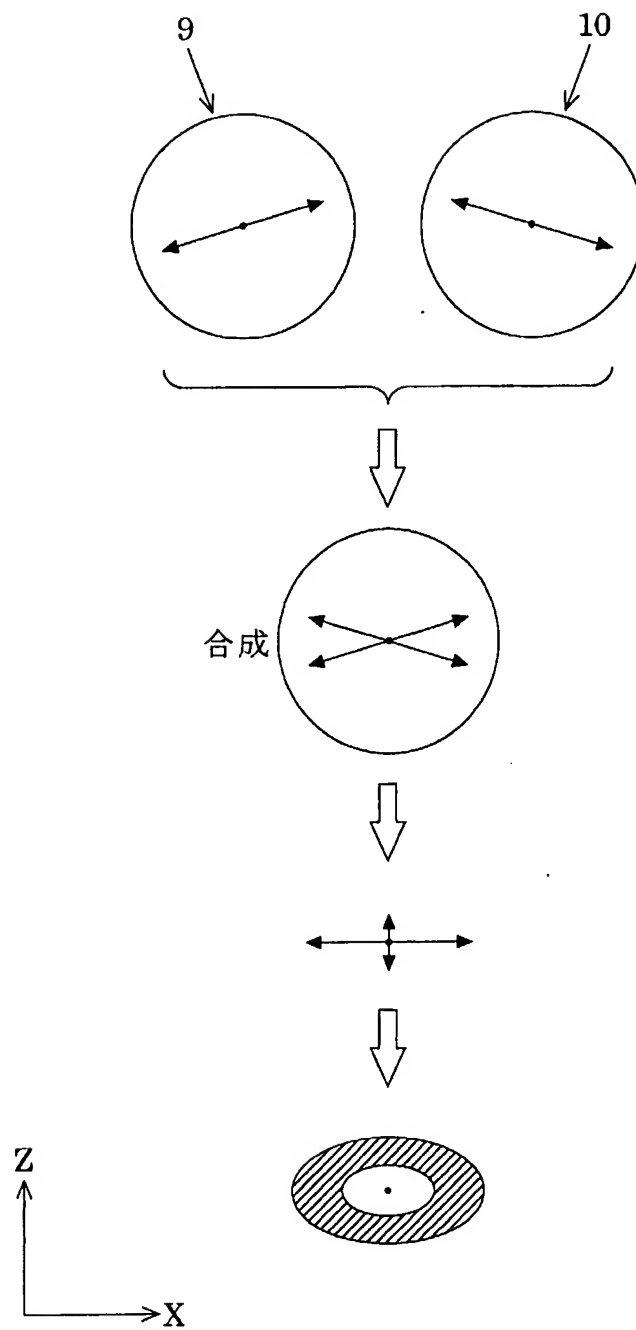
[図6]



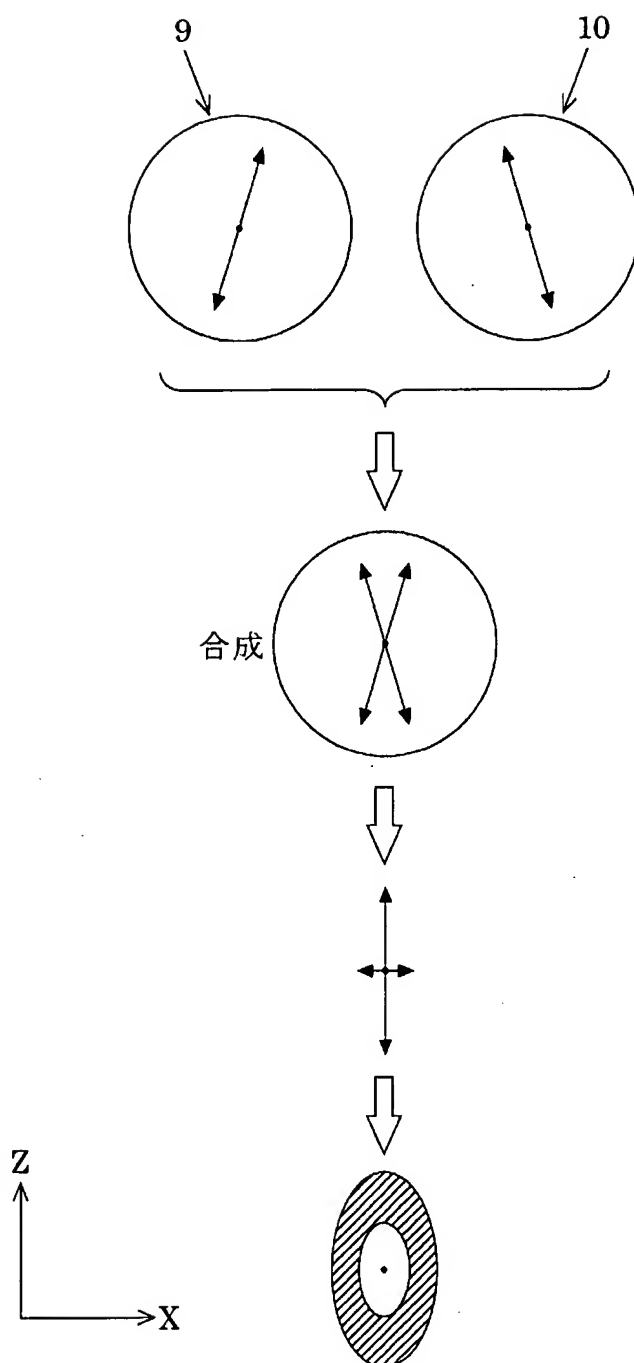
[図7]



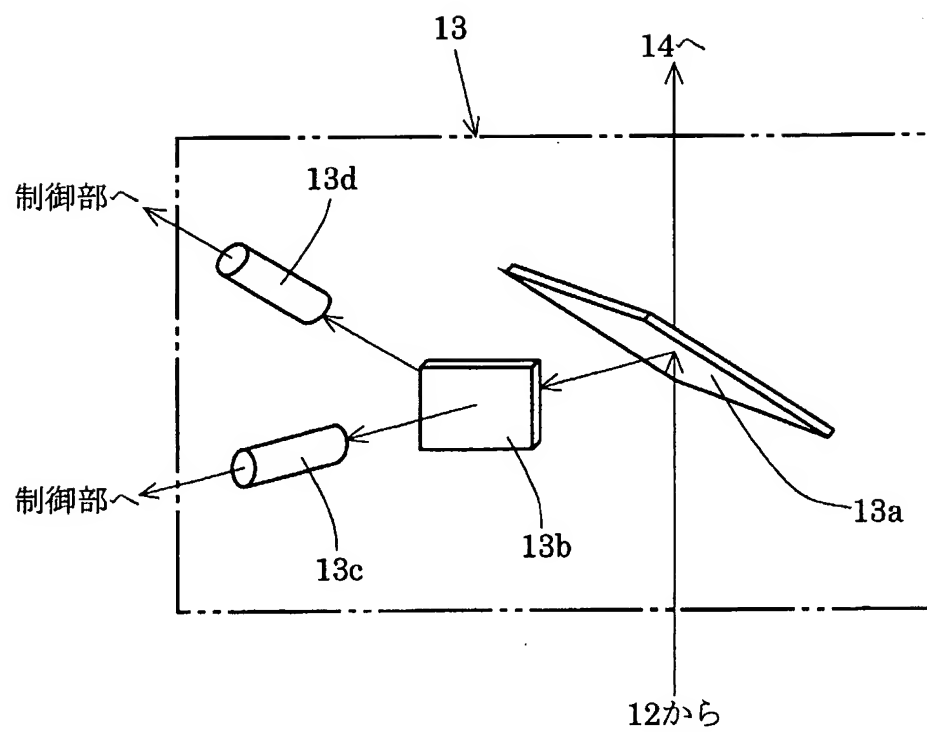
[図8]



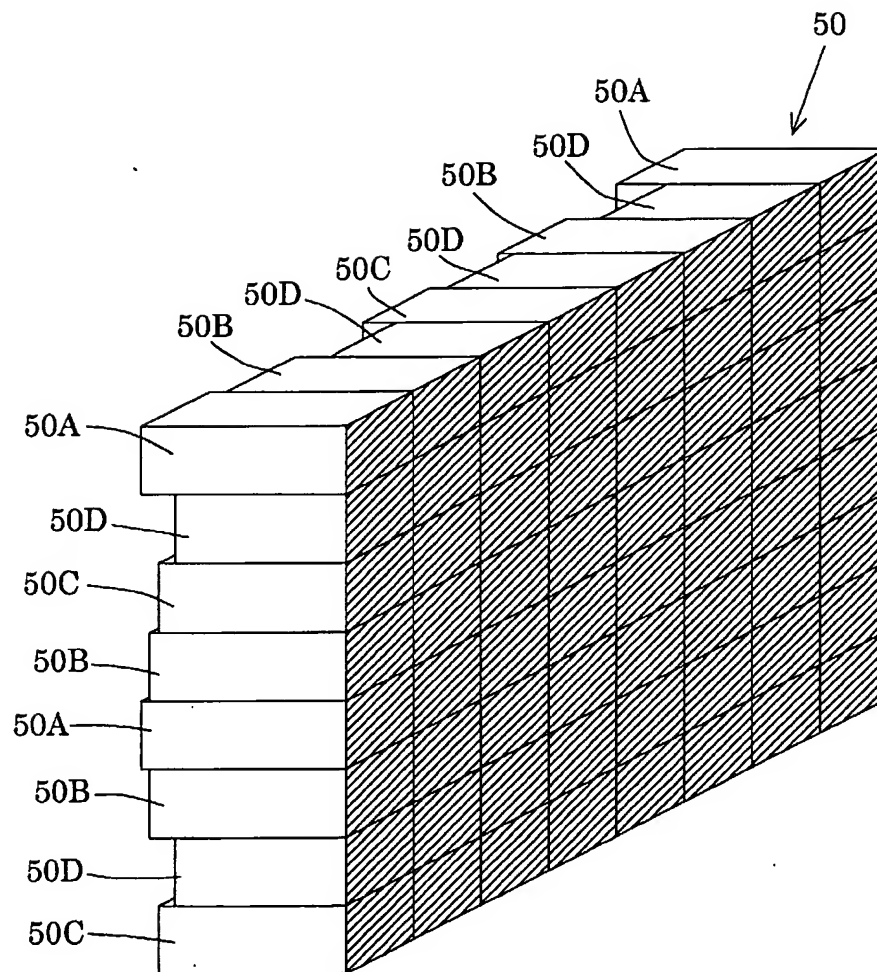
[図9]



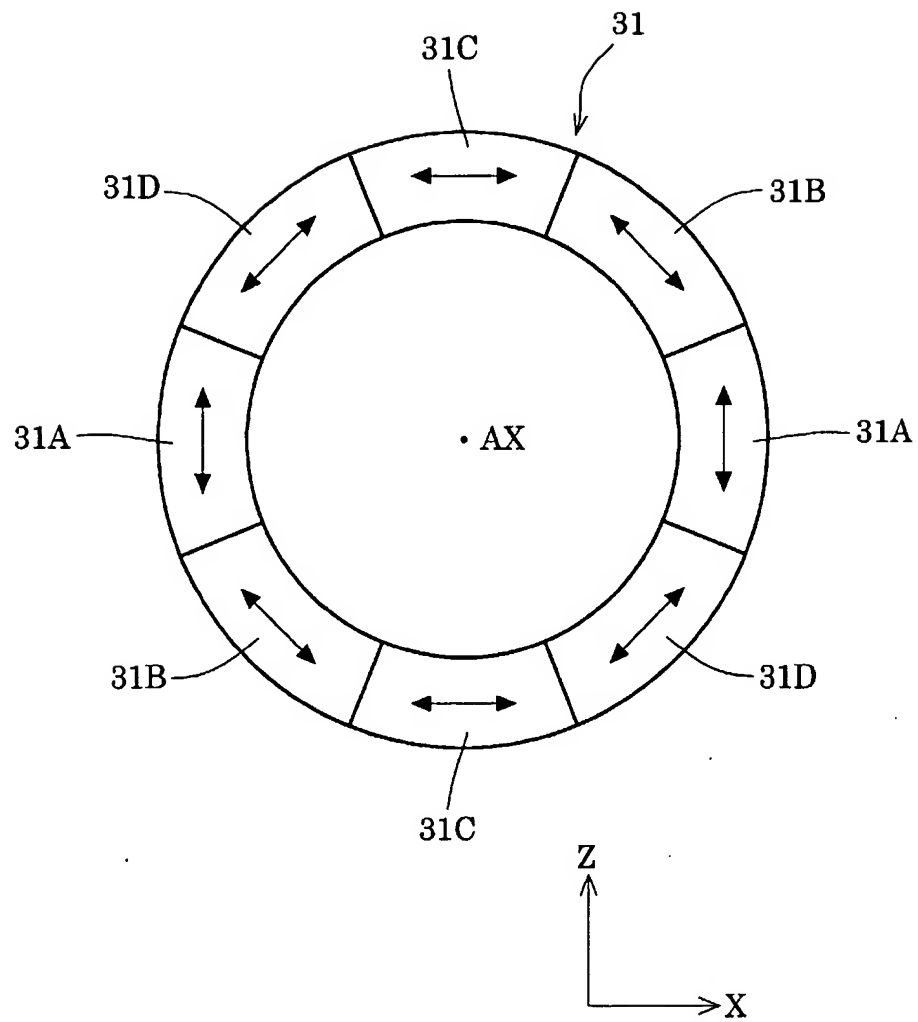
[図10]



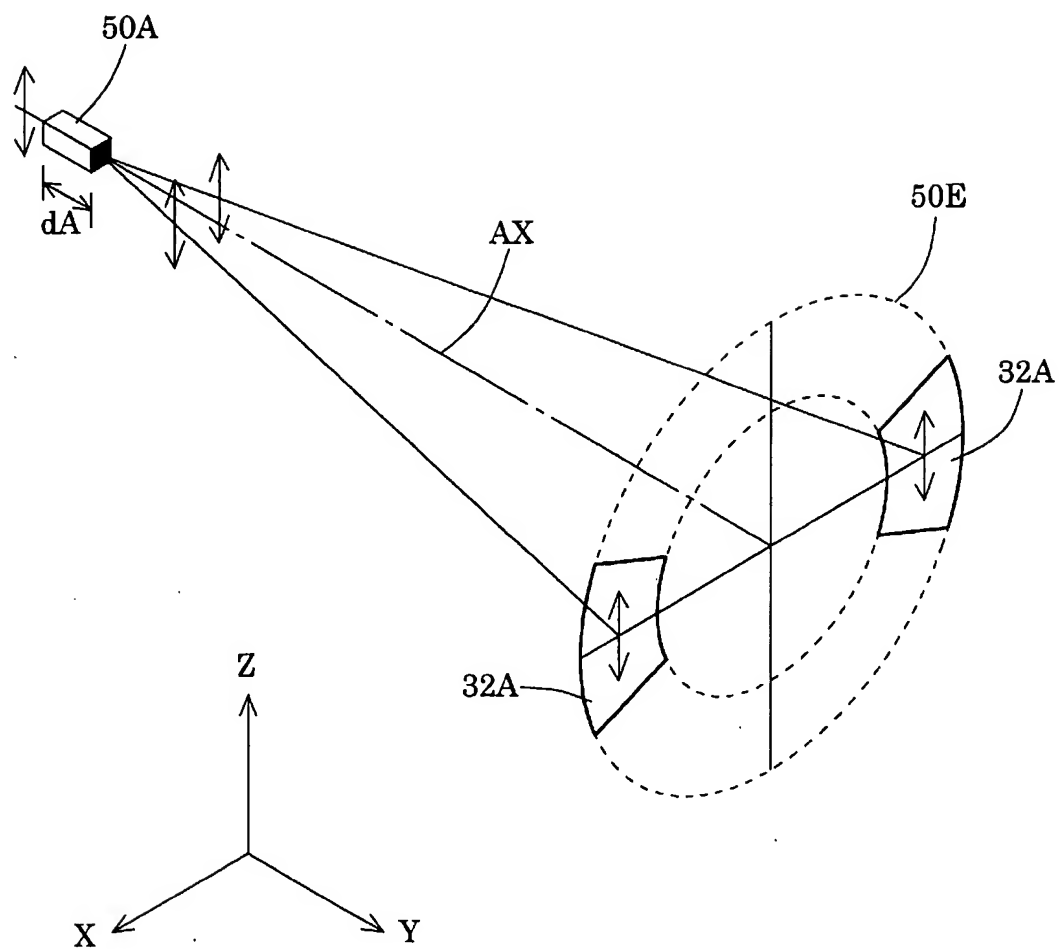
[図11]



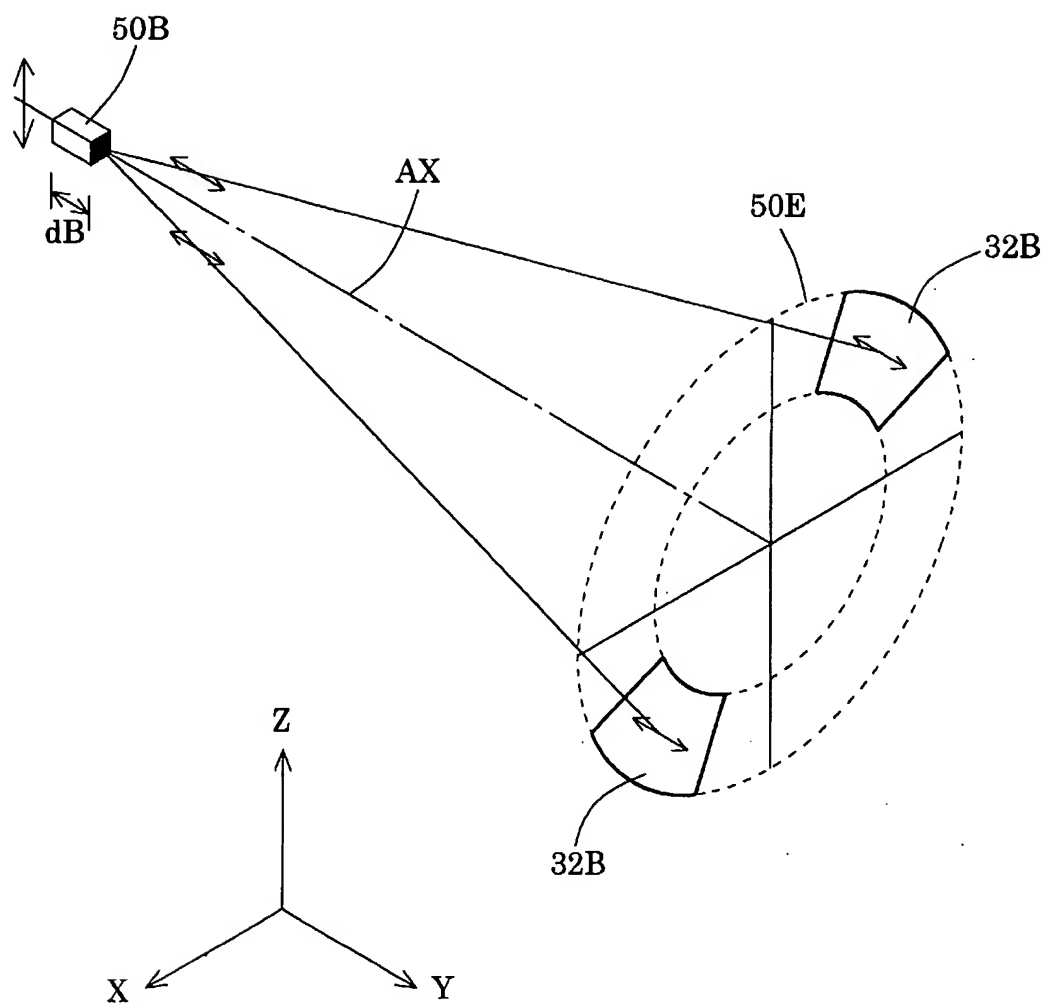
[図12]



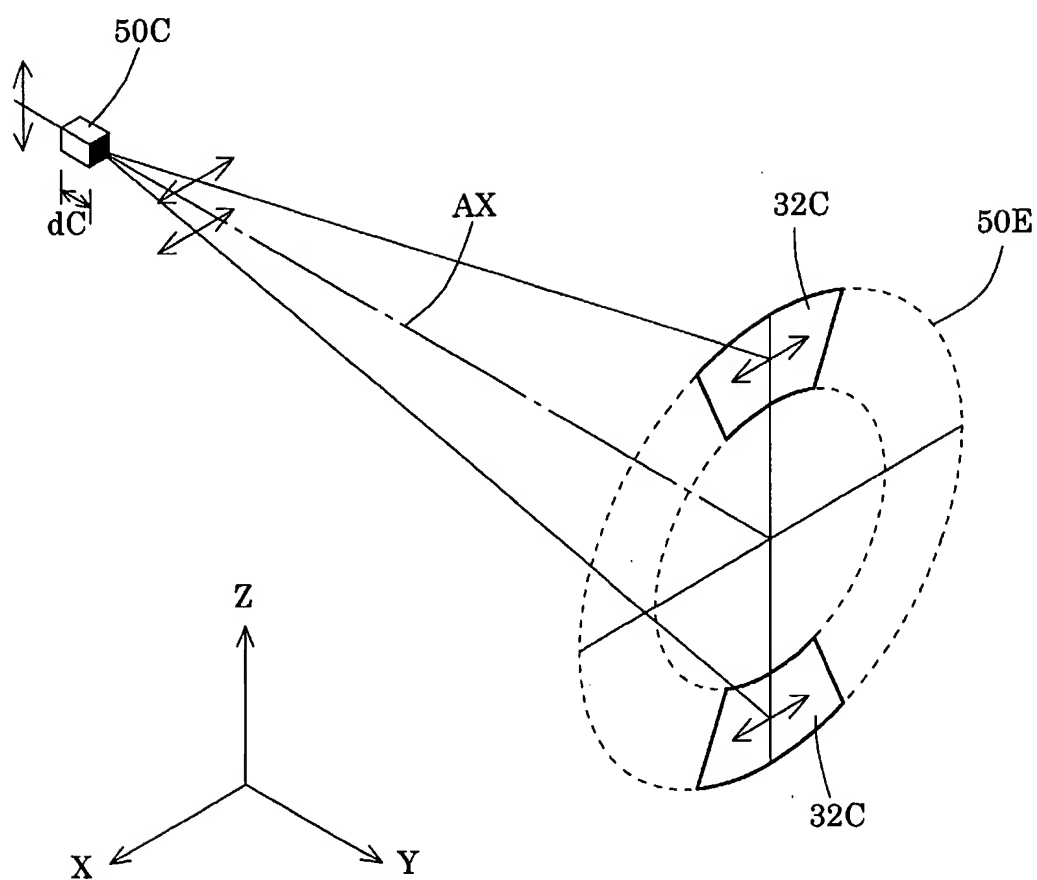
[図13]



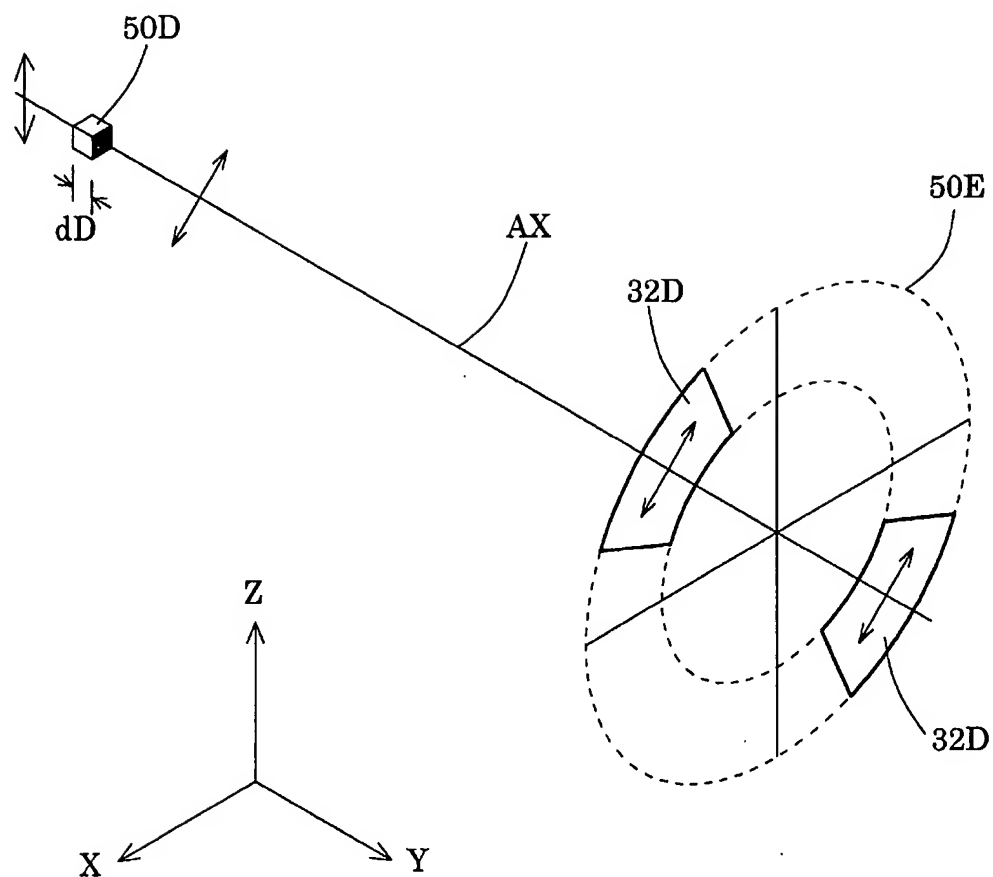
[図14]



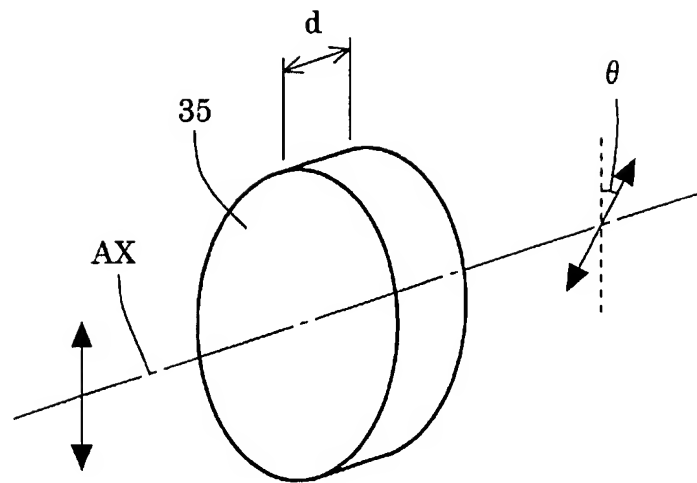
[図15]



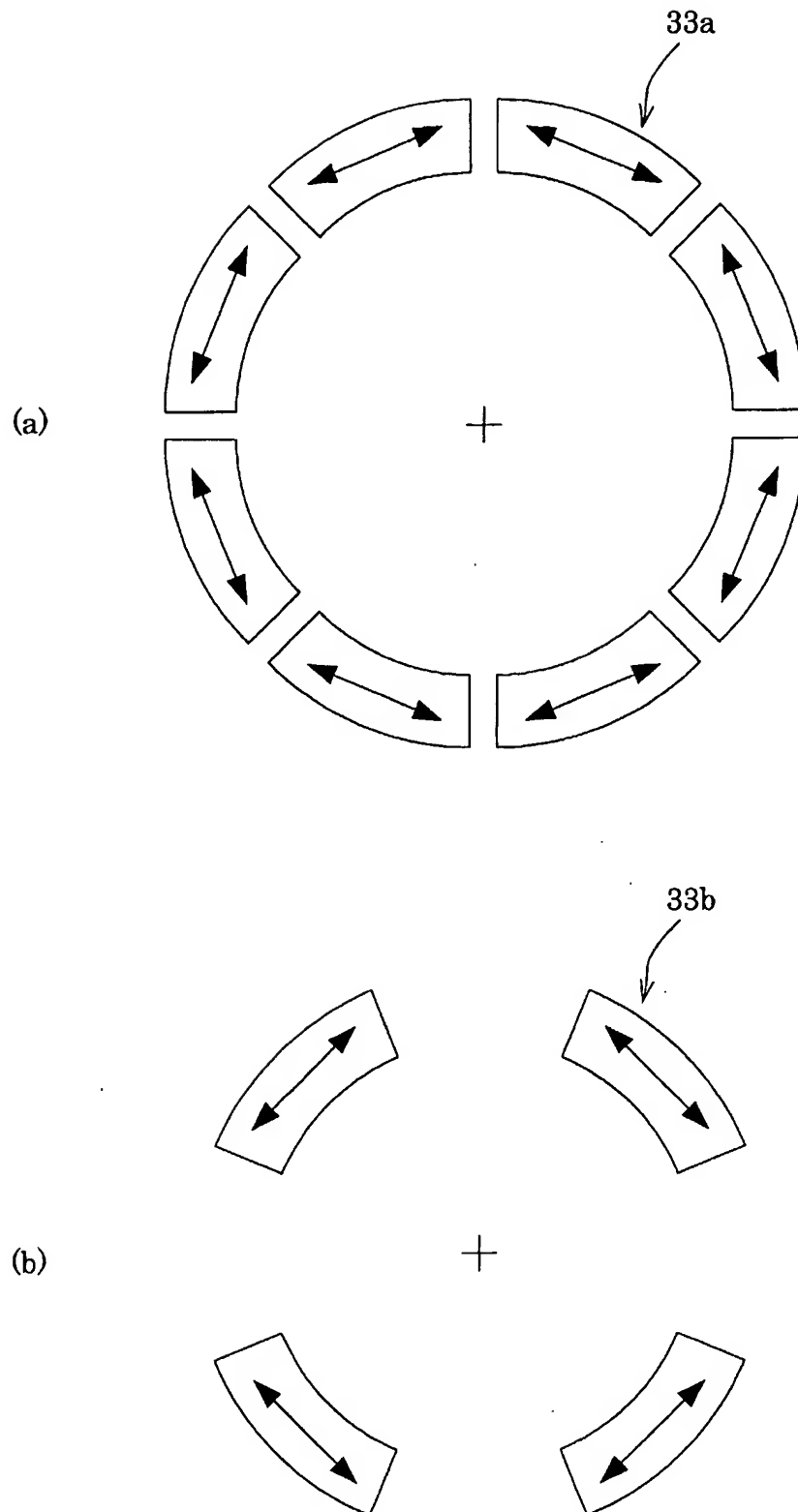
[図16]



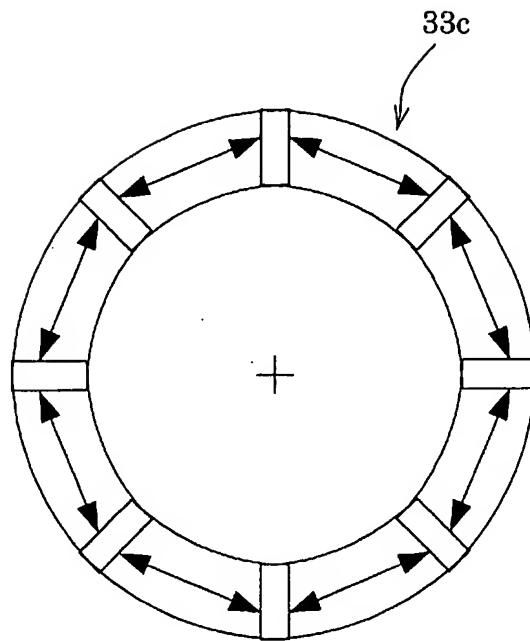
[図17]



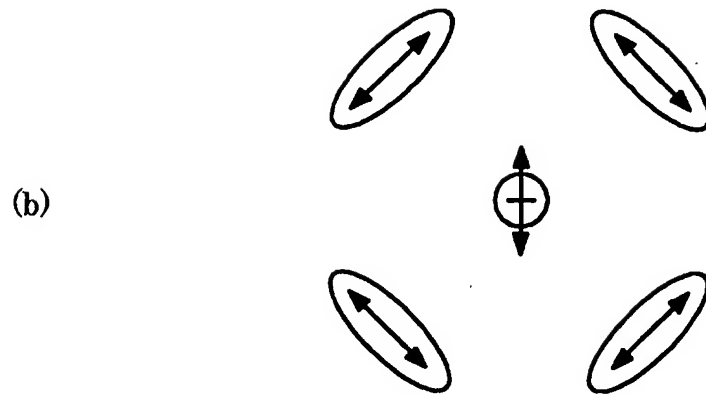
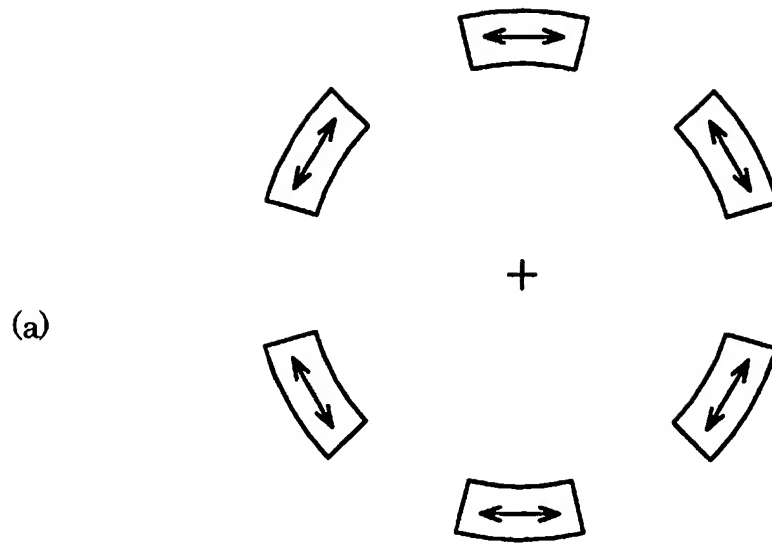
[図18]



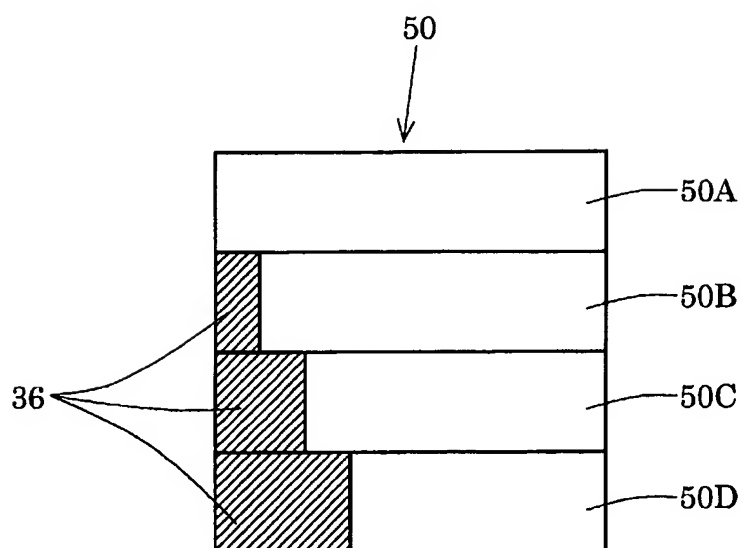
[図19]



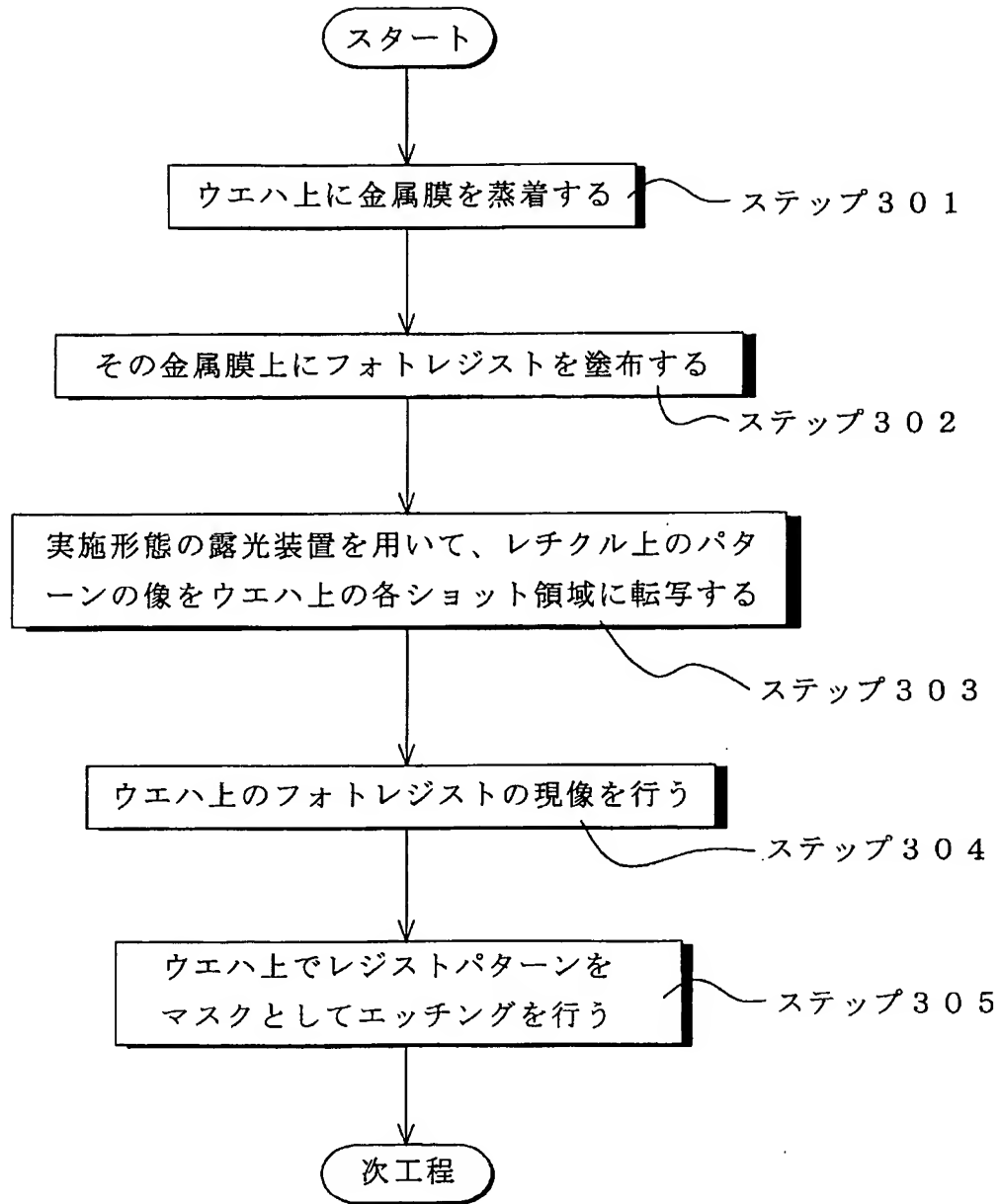
[図20]



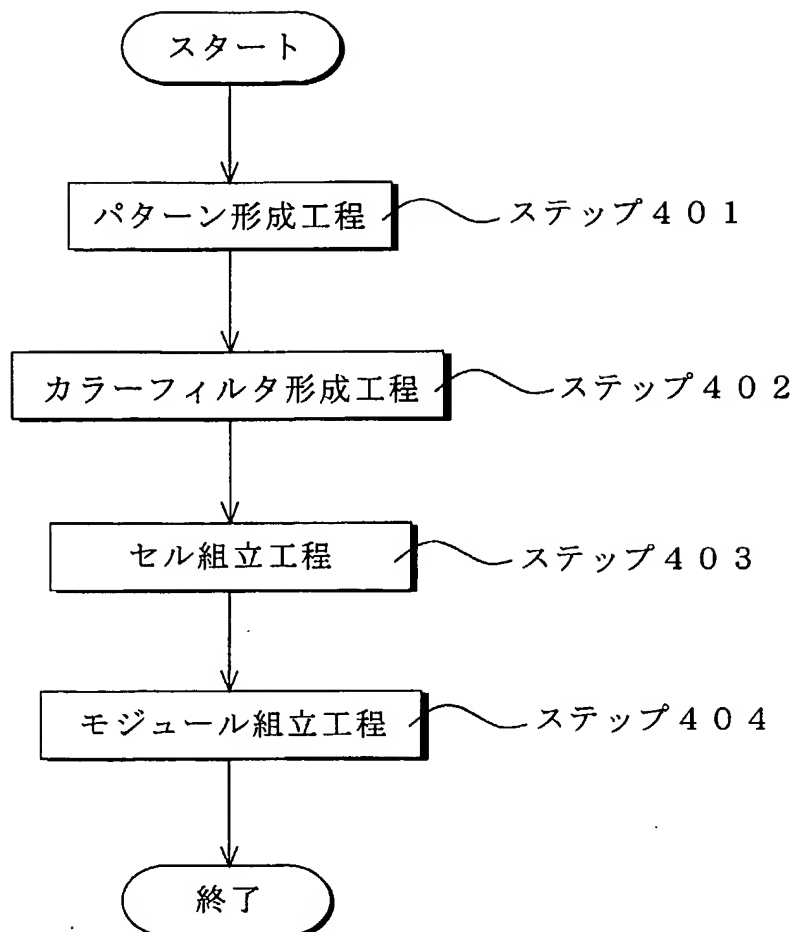
[図21]



[図22]



[図23]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/016247

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H01L21/027, G03F7/20, G02B27/00, G02B27/28, G02B19/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H01L21/027, G03F7/20, G02B27/00, G02B27/28, G02B19/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 7-283119 A (Hitachi, Ltd.), 27 October, 1995 (27.10.95), Example 1; Fig. 3; Par. No. [0017] (Family: none)	1, 2, 6-12 3-5
X A	JP 6-188169 A (Canon Inc.), 08 July, 1994 (08.07.94), Abstract; Fig. 17; Par. No. [0100] (Family: none)	1, 2, 6-8, 10-12 3-5, 9
X A	JP 6-53120 A (Nikon Corp.), 25 February, 1994 (25.02.94), Abstract; Par. Nos. [0020] to [0025]; examples; Figs. 1, 3, 5 (Family: none)	1-8, 11-14, 16-26 9, 10, 15

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
09 December, 2004 (09.12.04)

Date of mailing of the international search report
28 December, 2004 (28.12.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/016247

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2002-75835 A (Nikon Corp.), 15 March, 2002 (15.03.02), Fig. 1 (Family: none)	17, 18

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl¹ H01L21/027, G03F7/20, G02B27/00, G02B27/28, G02B19/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl¹ H01L21/027, G03F7/20, G02B27/00, G02B27/28, G02B19/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	J P 7-283119 A (株式会社日立製作所) 1995. 10. 27	1, 2, 6-12
A	【実施例1】, 図3, 【0017】 (ファミリーなし)	3-5
X	J P 6-188169 A (キヤノン株式会社) 1994. 07. 08	1, 2, 6-8, 10-12
A	要約, 図17, 【0100】 (ファミリーなし)	3-5, 9

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

09. 12. 2004

国際調査報告の発送日

28.12.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

多田 達也

2M

3011

電話番号 03-3581-1101 内線 3274

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	J P 6-53120 A (株式会社ニコン) 1994. 02. 25	1-8, 11-14, 16 -26
A	要約, 【0020】 - 【0025】, 各実施例, 図1, 3, 5 (ファミリーなし)	9, 10, 15
A	J P 2002-75835 A (株式会社ニコン) 2002. 03. 15 図1 (ファミリーなし)	17, 18